EL MUNDO FISICO

3

EL

MUNDO FISICO

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO-EDITORIAL
BARCELONA

EL

MUNDO FISICO

POR

AMADEO GUILLEMIN

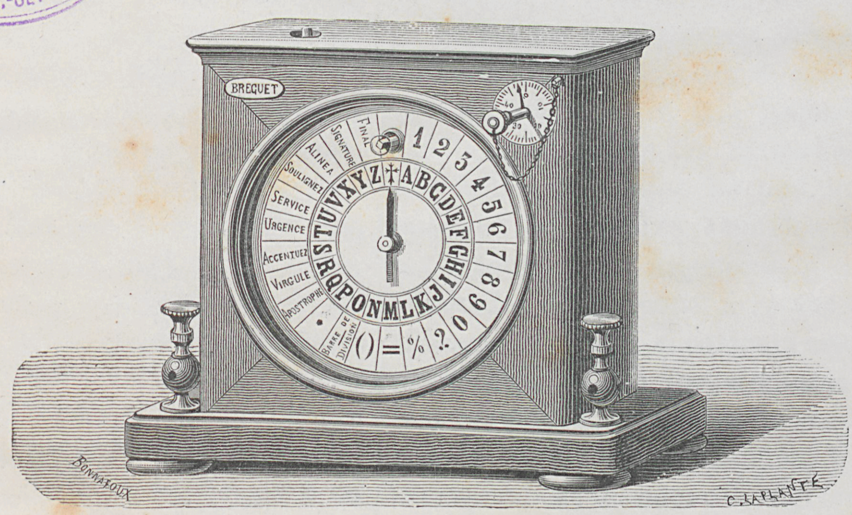
Traduccion de

D. MANUEL ARANDA Y SANJUAN

GRAVEDAD, GRAVITACION, LUZ, CALOR, ELECTRICIDAD, MAGNETISMO, ETC,.

ILUSTRACION COMPUESTA DE NUMEROSAS VIÑETAS INTERCALADAS EN EL TEXTO

TOMO TERCERO



BARCELONA

MONTANER Y SIMON, EDITORES

CALLE DE ARAGON, NUMS. 309-311

1883

EL MAGNETISMO Y LA ELECTRICIDAD

PARTE PRIMERA

LOS FENÓMENOS Y SUS LEYES

Tres siglos atrás desconocíanse ó poco ménos los fenómenos cuya descripcion va á servir de asunto para este tercer tomo del MUNDO FÍSICO. Todo cuanto habian vislumbrado los antiguos acerca de lo que hoy constituye dos de las más importantes ramas de la ciencia física, el *Magnetismo* y la *Electricidad*, se reducia á dos hechos aislados: la atraccion del hierro por la piedra iman, y la de los cuerpos ligeros por el ámbar frotado. Verdad es que la brújula procedente del extremo Oriente, habia sido adoptado por los marinos occidentales en el siglo XI ó XII de nuestra era; siendo este casi todo el progreso realizado, por lo que atañe al magnetismo, en los veintidos siglos que median entre Thales y Guillermo Gilbert. En vano era que durante las tormentas nos deslumbrase una potencia misteriosa con los fulgores del relámpago y nos atemorizase con el estampido del trueno ó el fragor del rayo; nada sabíamos acerca de la electricidad.

Ni los filósofos de la antigüedad ni los teólogos de la Edad media habian sospechado la existencia de la fuerza que es el agente de la multitud de los fenómenos eléctricos y magnéticos y que se da á conocer bajo formas tan curiosas como variadas, de esa fuerza, que segun ahora sabemos, desempeña un papel tan importante y á veces tan formidable en la naturaleza: aquéllos la suponian en manos de Júpiter Tonante; para éstos no era más que un objeto de terror religioso. Pero merced á la ciencia, gracias á los grandes esfuerzos del genio, y á observaciones prolijas y á experimentos ingeniosos, la fuerza eléctrica ha llegado á ser en manos del hombre un instrumento dócil, que maneja á su albedrío. Ora se vale de él para trasportar á larga distancia su pensamiento con la rapidez del rayo, ora lo emplea en platear y dorar los metales, y en reproducir las cinceladuras más delicadas con la precision de un moldeador, ora en fin le proporciona vivísima luz cuyo brillo rivaliza con el del Sol, ó es foco de tan intenso calor, que funde y volatiliza los metales más densos y más duros, ó las sustancias más refractarias.

Todo el que ha visitado últimamente el Palacio de la Industria, en el cual se reunieron por vez primera, en una Exposicion sin rival en el mundo, todas las maravillas de la Electricidad; todo el que ha podido estudiar los aparatos del hombre científico lo mismo que las máquinas del ingeniero, y comprobar los resultados de la teoría á la vez que los de la aplicacion práctica, si compara estos resultados, por una parte con los modestos hechos que han servido á la ciencia de punto de partida apénas hace trescientos años, y por otra con las esperanzas de nuevos progresos que puede profetizar sin duda alguna, no podrá ménos de sentir profunda admiracion por la fecundidad de la física. Pero si se empeña en conocer el poder de los medios que han servido para realizar tantas cosas que aún no hace muchos años hubieran pasado por verdaderos prodigios, que se detenga un momento á reflexionar, y conocerá que todo el secreto de este poder puede resumirse en tres palabras. Estas tres palabras, la fórmula mágica, el *¡Abrete, Sésamo!* de la ciencia contemporánea, son: OBSER-

VACION, EXPERIENCIA, CALCULO MATEMATICO.

Con los diferentes nombres de *Electricidad* y *Magnetismo* se clasifican, como es sabido, dos series de fenómenos que por espacio de mucho tiempo se han podido creer extraños uno á otro, pero que hoy se les puede considerar dimanados de una misma causa. Por lo ménos, la experiencia demuestra ya que, en ciertas circunstancias, los fenómenos eléctricos y los magnéticos ejercen recíproca influencia entre sí y que las fuerzas que los producen son convertibles unas en otras. De aquí ha resultado una nueva rama de la ciencia, que participando de las dos primeras ha recibido por esta razon el nombre de *Electro-magnetismo*. Desde que el genio de los Œrstedt y Ampere reveló al mundo sesenta años atrás esta ciencia especial, desarrollada luégo por los Arago, Faraday y otros cien físicos, han sido tan rápidos sus progresos, que quizás igualan en importancia á los de las ciencias particulares de que ella misma se deriva. Fácil será convencerse de la verdad de este aserto, por el puesto que ocuparán en este volúmen los capítulos consagrados al electro-magnetismo y sus aplicaciones.

Mas aunque la teoría del Magnetismo y de la Electricidad haya dado grandes pasos, sobre todo en el presente siglo, todavía dista mucho de haber llegado al grado de precision y de rigor que hemos comprobado ya en las teorías de la Gravedad, de la Gravitacion y de la Luz, y que volveremos á hallar en la del Calor. Pero ¿debemos extrañarnos de ello? ¿No es ya sorprendente ver la prodigiosa acumulacion de descubrimientos hechos de trescientos años á esta parte en un terreno desconocido é inexplorado enteramente? Con todo, además de estar ya casi probado que el Magnetismo es un caso particular de la Electricidad, como la Gravedad lo es de la Gravitacion universal, se columbra ya la posibilidad de relacionar la fuerza eléctrica con las demás fuerzas físicas. La conversion de la electricidad en calor, en luz, en atraccion molecular y en afinidad química, ha abierto ante el teórico nuevos horizontes, de los que brotará, como esperamos, la luz, tan luégo como aparezca uno de esos genios poderosos que trasforman la ciencia, cuando haya llegado el momento de la posibilidad de esta transformacion. Antes que Newton, el teórico de la gravitacion, aparecieron Keplero y Galileo; ántes que Young y Fresnel, los fundadores de la teoría de las ondulaciones luminosas, el mismo Newton y Huygens habian descubierto las leyes de la Optica; ántes que Mayer, Rumford, Gay-Lussac y Fourier habian despejado el terreno y descubierto las leyes en que más adelante debia cimentarse la teoría del Calor. La Electricidad se encuentra hoy en esa fase de trasformacion que hace pasar una ciencia puramente experimental al estado de ciencia matemática, cuyos hechos todos pueden someterse al cálculo, siendo dable prever que no tardaremos en poseer una teoría positiva de esta rama de la ciencia.

Miéntras tanto, bastará la descripcion de los fenómenos y sus leyes, la reseña de las mil aplicaciones útiles que se ha sabido sacar de ellos, para satisfacer ampliamente la curiosidad del público amigo de la ciencia, tarea que procuraremos desempeñar en este tercer tomo del MUNDO FISICO, con arreglo al plan que nos hemos trazado para el conjunto de esta obra.

LIBRO PRIMERO

EL MAGNETISMO

CAPÍTULO PRIMERO

LOS IMANES

I

FENÓMENOS GENERALES DEL MAGNETISMO

Los mineralogistas dan el nombre de *hierro oxidulado* ó *hierro magnético* á un mineral de este metal que se encuentra en muchas minas de ambos continentes. Conforme lo indica su fórmula química, $FeO + Fe^2O^3$, este mineral se compone de protóxido y de sesquióxido de hierro, y cristaliza en forma de octaedros ó de dodecaedros romboidales. Ciertos ejemplares de hierro oxidulado gozan de la propiedad de atraer hácia algunos de sus puntos las partículas de hierro ó de acero que se les acerca, y á causa de este fenómeno se les da el nombre de *piedras imanes* ó simplemente el de *imanes naturales*, para distinguirlos de los pedazos de acero á los cuales se consigue comunicar la misma virtud atractiva y que se designan con el nombre de *imanes artificiales*.

Las minas ó yacimientos de hierro magnético más importante, existen en Suecia y Noruega, en forma de masas compactas dotadas de brillo metálico, y tambien en la isla de Elba, en el seno del cúmulo de mineral que se explota en el cabo Calamita. Pero las hay asimismo en Auvernia, Alemania, Estados Unidos y Bona en Argelia. La piedra iman es por lo comun de color negruzco ó pardo, á veces ceniciento; de aspecto metálico, segun acabamos de decir, y su densidad de 5,10. Es el mejor de todos los minerales de hierro.

No hay nada tan fácil como poner en evidencia la atraccion del hierro por los imanes, naturales ó artificiales. Basta para ello meterlos en un monton de limaduras de hierro; al sacarlos, se ve que detienen en ciertos puntos de su superficie un crecido número de partículas metálicas agrupadas á modo de moños ó escobillones más ó ménos densos. Los pedazos de hierro ó de acero, los clavos y las agujas, atraidos hácia los mismos puntos de los imanes, se precipitan en ellos, cuando la distancia que los separa es lo suficientemente reducida.

Hácese patente la misma propiedad por medio de un aparatito llamado *péndulo magnético*, que consiste simplemente en una esferilla de hierro suspendida de un hilo (figura 1). Si se

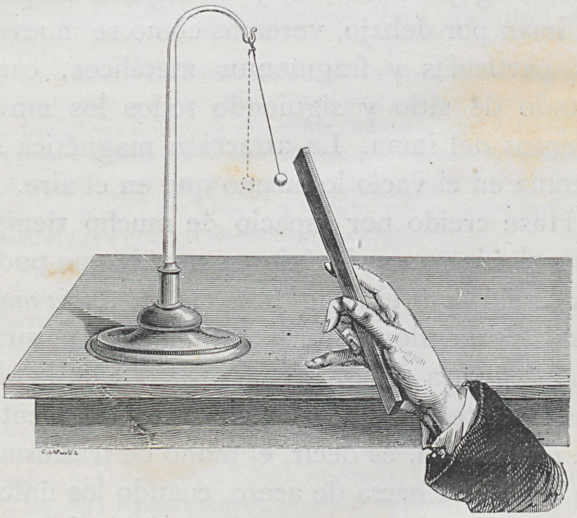


Figura 1.—Péndulo magnético

acerca lateralmente el iman á la bolita, al acercarse ésta á aquel hace que el hilo se desvie de su direccion vertical, siendo la atraccion tanto más fuerte cuanto menor sea la distancia del iman. Por lo demás, y segun permite suponerlo el principio de igualdad de la accion y la reac-

cion, si el iman atrae al hierro, éste atrae á su vez á aquél, y por lo tanto, un iman que pueda moverse suspendiéndolo del modo representado en la fig. 2, oscila cuando se le acerca lo bastante á un cilindro de hierro inmóvil y gira alrededor de su eje de suspension para reducir en lo posible la distancia que de él lo separa.

Los anteriores experimentos demuestran qúe la atraccion magnética no se ejerce solamente por contacto, sino tambien á alguna distancia; más adelante veremos que su intensidad va creciendo si esta disminuye y expondremos la ley en virtud de la cual sucede así. Pero se ejerce tambien cuando entre el iman y el hierro se interponen cuerpos extraños, sólidos ó líquidos, y el espesor de estos cuerpos no cambia la intensidad de la atraccion, ó por lo ménos no resulta esta modificada en razon de la dis-

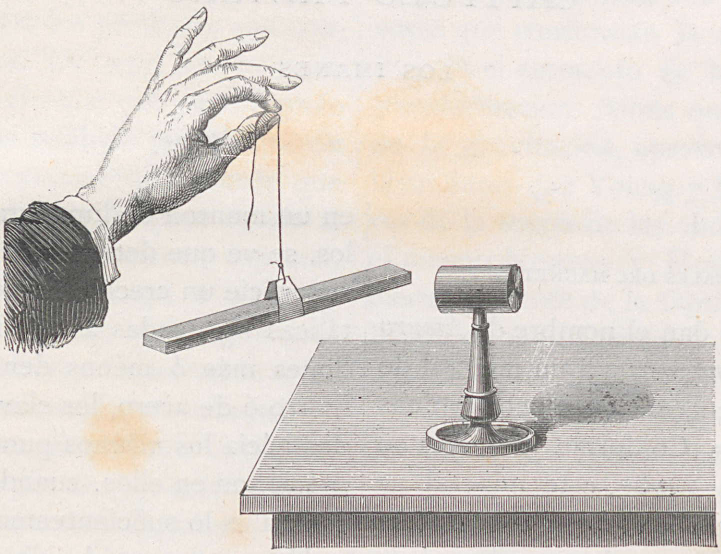


Fig. 2.—Atraccion de un iman por el hierro

tancia. Si sobre una tablita, un disco de carton, de porcelana ó de cobre se echan limaduras de hierro, agujas ó clavos, y en seguida se pasa un iman por debajo, veremos cómo se mueven las partículas y fragmentos metálicos, cambiando de sitio y siguiendo todos los movimientos del iman. La atraccion magnética se efectúa en el vacío lo mismo que en el aire.

Háse creido por espacio de mucho tiempo que el hierro era la única sustancia que podia ser atraida por el iman, la única *sustancia magnética*, valiéndonos de la expresion que sirve en física para designar esta propiedad. Sin embargo, ántes de conocerse los procedimientos de imantacion, es decir, el modo de trasformar en iman una barra de acero, cuando los únicos imanes conocidos eran los naturales, sabíase ya que los pedazos de mineral que no atraen el hierro eran á pesar de esto magnéticos, es decir, que los imanes los atraían, como atraen á otros muchos minerales de hierro.

Posteriormente se ha reconocido que varios metales gozan de la misma propiedad que el hierro, como el niquel, el cobalto y el cromo. El cobalto no es magnético sino cuando está exento de arsénico; el cromo no lo es á la temperatura ordinaria, pero sí, segun Wöhler, cuando se la hace bajar á 15° ó 20° bajo cero. Se habia clasificado el manganeso entre las sustancias magnéticas; pero parece indudable que tan sólo debe esta propiedad al hierro que contiene, y que la pierde si se le priva enteramente de él.

Hay que cuidar de no confundir las sustancias magnéticas con los imanes. Si los imanes naturales ó artificiales y las sustancias magnéticas se atraen recíprocamente, como acabamos de ver, esto no significa que las propiedades de unos y otros sean las mismas. Hay una diferencia capital que debemos indicar desde luégo, y es que las sustancias simplemente magnéticas no se atraen mutuamente: un pedazo de hierro, que atrae á un iman, no tiene accion alguna sobre el hierro, si no está cerca de algun iman.

Existe asimismo otra diferencia sobre la cual conviene que nos extendamos algo, y es que el pedazo de hierro experimenta la atrac-

cion en todos sus puntos, al paso que en un iman está distribuida con desigualdad la propiedad atractiva, siendo nula en unos puntos, y llegando á su máximum en otros. Los experimentos que citamos á continuacion pondrán de manifiesto esta diferencia característica entre las sustancias magnéticas y los imanes.

Examinando un iman despues de sacarlo de entre un monton de limaduras de hierro, se ve que estas, no tan sólo se adhieren más especialmente á dos regiones opuestas, sino que además presentan en la colocacion de sus partículas una direccion particular, como si en cada una de las regiones en que la atraccion es mayor, hubiera un centro de atraccion. En cambio en la mitad de la barra se ve una region á la que no se ha adherido ninguna partícula de hierro. Dase el nombre de *polos* del iman á los dos puntos extremos de que hablamos, y el de *línea neutra* á la seccion media del iman. Véase otro procedimiento que demuestra de un modo más comprensible todavía la existencia de los polos y de la línea neutra. Colócase sobre la barra que constituye el iman un carton, espolvoreándolo, con un tamiz, de limaduras de hierro muy finas. Al punto se colocan las partículas de metal de un modo regular alrededor de los puntos *p* y *p'*, que corresponden á los polos del iman, formando filas convergentes y simétricas con relacion á la línea neutra *m m'* (1) (figura 3).

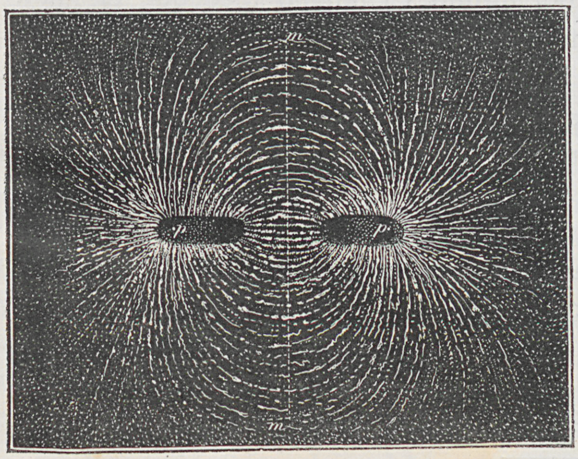


Fig. 3. — Espectro magnético. Distribucion de la limadura de hierro en un iman

A veces un iman tiene más de dos polos; además de los extremos, de que acabamos de hablar, presenta puntos intermedios á los que se adhiere la limadura, y que están separados entre sí por líneas neutras, como se ve en el espectro magnético representado en la figura 4. Llámaseles *puntos consecuentes*. Ahora ya es fácil expresar la diferencia que existe entre los

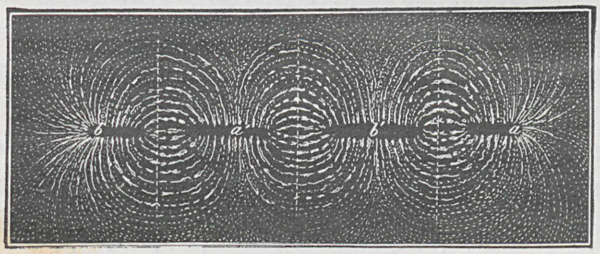


Fig. 4.—Puntos consecuentes

imanes y las sustancias magnéticas: estas no tienen polos ni líneas neutras, y cualesquiera que sean los puntos de las mismas que se acerquen á los polos de un iman, hay siempre reciprocidad de atraccion, al paso que un iman sólo la ejerce por sus polos.

Para distinguir los imanes de las sustancias simplemente magnéticas, se dice que están dotados de *magnetismo polar*. Cuando tratemos de la accion de los imanes sobre los imanes, describiremos otros fenómenos que acabarán de precisar esta distincion.

Limitémonos por ahora á decir que, entre las sustancias magnéticas, hay algunas á las

(1) Para estudiar la disposicion de estas filas de limaduras, de estas *líneas de fuerza* como Faraday las llamaba, empleaba éste el siguiente método cuya descripcion tomamos de la obra de Gordon titulada *Tratado experimental de Electricidad y Magnetismo*:

«Incrústese el iman en una tablita de espesor igual ó mayor que el de este, de suerte que la superficie superior del iman se confunda con la superficie superior de la tabla. Póngase todo sobre una hoja de papel lisa sujeta á una mesa y en seguida, con un tamiz, espolvoréese todo el papel de limadura de hierro muy fina.

»Cuando una partícula de metal cae cerca del iman, se imanta por induccion y gira sobre sí misma, de suerte que su mayor diámetro coincide con la línea de fuerza que pasa por el punto en que se encuentra. Cada uno de estos pequeños imanes atrae la partícula vecina hasta formarse una cadena continua de limadura á lo largo de cada una de las líneas de fuerza. De vez en cuando se dan golpes en la tabla para impedir el frotamiento de la limadura sobre el papel.

»Si se quieren conservar las curvas resultantes, se pone encima un carton con su superficie inferior engomada. Cuando la goma se seca, la limadura se pega al carton. En vez de emplear papel, se puede colocar el iman con preferencia bajo una placa de cristal, y entónces es necesario incrustarlo.

»El mejor medio de preparar estas curvas, para proyectarlas en una pantalla con una linterna mágica, consiste en extender sobre una placa de vidrio una capa de mastic trasparente, que se derrite al calentarlo. Cuando se ha endurecido enteramente, se pone un iman debajo del vidrio, y se le espolvorea de limadura. En seguida se lleva cuidadosamente la placa á una estufa y se la calienta hasta que el mastic se ablanda; la limadura penetra entónces en él.

»Retirando la placa de vidrio y dejándola enfriar, quedan todas las partículas fijas en su posicion.»

que se puede comunicar de una manera duradera, permanente, el magnetismo polar, como sucede con el hierro templado, el acero, el cobalto y el niquel. Mas por lo regular estos cuerpos imantados pierden su propiedad cuando se les somete á una temperatura más ó ménos elevada. El niquel pierde su magnetismo polar á los 350° y el cobalto á la temperatura del rojo blanco. El calor ejerce la misma influencia en los cuerpos simplemente magnéticos. Newton fué el primero en advertir que el iman no atrae ya el hierro cuando se le calienta al rojo; Barlow ha hecho ver que sucede lo propio con el palastro calentado al rojo blanco, y nosotros hemos visto que el cromo no es magnético á la temperatura ordinaria.

¿Debe deducirse de estos hechos, como pensaba Pouillet, que todos los cuerpos serian magnéticos si se pudiera bajar lo suficiente su temperatura? Unicamente la experiencia podrá decidir sobre la legitimidad de esta hipótesis. Más adelante veremos que todos los cuerpos son magnéticos cuando se los somete, en ciertas condiciones, á la accion de imanes de gran potencia.

Antes de proseguir la descripcion de los fenómenos peculiares de los imanes y de las sustancias magnéticas, cuya causa desconocida ha recibido el nombre de *magnetismo*, echemos una rápida ojeada sobre la historia del iman desde la antigüedad hasta nuestros dias.

II

EL MAGNETISMO EN LA ANTIGUEDAD

Los griegos conocian ya en el siglo VII antes de nuestra era la propiedad fundamental del iman, la de atraer el hierro, puesto que Thales hace mencion de ella: el nombre griego del iman natural era *litos erakleia, piedra de Hércules*, ó segun otros, *piedra de Heraclea.* Más adelante, desde el tiempo de Platon, se dió otro nombre al iman, el de *magnetis litos, piedra de Magnesia*, lo cual hace suponer que abundaba en las inmediaciones de una de las dos ciudades de Lidia que llevaban el nombre de Magnesia (1); pero los autores antiguos no están de acuerdo acerca del punto de orígen del iman, pues unos lo suponen en la Lidia, otros en la Troade, y otros en la India ó en las islas situadas entre la de Trapobana y el Quersoneso de Oro.

Los conocimientos de los antiguos sobre las propiedades del iman se redujeron á muy poca cosa hasta la Edad media: sabíase que esta piedra atrae y retiene el hierro por contacto, pero ignoraban que un iman libre es tambien atraido por el hierro, y áun muchos filósofos se tomaron el trabajo de explicar porqué no sucedia esto. Ninguna nocion sobre la polaridad magnética de los imanes, y aunque se consignaron algunos hechos que parecen debidos á esta propiedad, nadie los comprendió. Por ejemplo, segun Plinio, existia una especie de iman *etiópico*, que atraia á los demás imanes: llamaba *theamede* á otra piedra que tenia la propiedad de repeler el hierro, y que sin duda seria un iman ordinario, al cual acercaron un pedazo de hierro imantado. Tampoco sabian los antiguos que se pudiera comunicar al hierro de un modo permanente la propiedad de la piedra iman; sin embargo, conocian la imantacion por contacto, y formaban una cadena magnética suspendiendo unos de otros anillos de hierro á continuacion de un primer anillo puesto en contacto inmediato con el iman; habian observado que este poder del hierro cesa tan luégo como se interrumpe el contacto; y por último Claudiano dice que el iman se refuerza por el contacto del hierro.

En el canto VI de *La naturaleza de las cosas*, de Lucrecio, se lee este pasaje: «Sucede tambien que el hierro huye del iman, porque se le ve huir de él y buscarlo alternativamente.» Parece desde luégo que el poeta haya tenido en cuenta los fenómenos de atraccion y repulsion magnéticas; pero lo que sigue prueba que lo que él tomaba por repulsion era en realidad la atraccion del hierro á cierta distancia al través de los cuerpos extraños, porque añade:

(1) Esta opinion parece corroborada por la denominacion de *erakleia litos*, puesto que en los confines de la Lidia habia tambien una ciudad llamada Heraclea. Segun Th. H. Martin, parece que esta opinion, muy extendida en tiempo de Platon, procedia de una mala inteligencia, de una confusion á causa de la cual se dió tambien al iman el nombre de *piedra de Lidia, litos lidia.* Por último los griegos usaban asimismo la denominacion de *piedra de hierro, sideritos litos.* Aristóteles llama simplemente al iman *i litos*, es decir, *piedra por excelencia:* los latinos la llamaron *magnes*, de donde se deriva nuestra palabra *magnetismo.* En la Edad media, además del nombre de *magnete*, se empleó para designar al iman la palabra *adamas*, que era tambien el del diamante.

«He visto estremecerse al hierro de Samotracia, y agitarse á la limadura en vasijas de bronce, cuando se ponia debajo la piedra iman; hasta tal punto parece que *el hierro huya del contacto con la piedra.*» Si Lucrecio hubiera vuelto la vasija sin cesar de presentar el iman por el lado opuesto, hubiera visto con gran sorpresa que las partículas de hierro quedaban suspendidas á pesar de la gravedad y comprendido que allí habia siempre un fenómeno de atraccion.

Los antiguos conocieron perfectamente la fuerza de los imanes y su poder de adherencia: esta propiedad era la que más les sorprendia, así fué que exageraron desmedidamente sus efectos, y tanto en la edad antigua como en la media, circularon por espacio de siglos enteros las fábulas y patrañas más inverosímiles. Mencionemos algunas. Segun Plinio, Tolomeo Filadelfo y su arquitecto Dinocaris trazaron para la reina Arsinoe el plano de un templo cuya bóveda debia construirse con piedra iman de suerte que la estatua de hierro de la nueva diosa quedara suspendida por simple contacto, Ausonio da por realizado este proyecto. Refiere San Agustin que los sacerdotes paganos, para engañar á las gentes, habian puesto piedras de iman ocultas en la bóveda y en el pavimento de un templo, calculando la fuerza de aquellas de modo que mantuvieran en el aire y en equilibrio una estatua de hierro, que, no pudiendo por esta causa subir ni bajar, presentaba á los fieles la apariencia de un milagro perpetuo. Muchos historiadores de la antigüedad y de la edad media han referido casos análogos, el más famoso de los cuales es el de la suspension de la tumba de Mahoma de la bóveda de la mezquita en que estaba.

Otras fábulas por el estilo demuestran cuánto habia llamado la atencion de los antiguos la misteriosa virtud de la atraccion magnética. «El célebre astrónomo y geógrafo Tolomeo reproduce una version popular, de cuya veracidad no responde, segun la cual las naves que van á las islas Maniolas quedan retenidas por una fuerza misteriosa si al construirlas no se ha tenido la precaucion de poner en vez de clavos de hierro, clavijas de madera. Tolomeo sospecha que pudieran ser causa de este fenómeno las grandes minas de iman situadas en dichas islas.» A juzgar por la posicion que Tolomeo asigna á las islas Maniolas, entre Trapobana y el Quersonero de Oro (Ceilan y la península de Malacca), estaban sin duda comprendidas entre los archipiélagos de Andaman ó de Nicobar. «Plinio cuenta que cerca del Indo hay dos montañas, una de las cuales atrae el hierro y la otra lo rechaza en términos de que si un viajero lleva clavos de hierro en su calzado, no puede poner el pié en el suelo en una de dichas montañas, al paso que queda adherido á él en la otra.»

Hemos dicho que los antiguos ignoraban los procedimientos de imantacion y por consiguiente no conocian los imanes artificiales. Sin embargo, Plinio hace observar que el hierro, despues de recibir de su contacto con el iman el poder de atraer al hierro, puede conservarlo mucho tiempo despues de haber cesado el contacto; y añade que las armas fabricadas con este hierro, llamado *hierro viviente*, causaban heridas más peligrosas que las otras.

En resúmen, todo cuanto los hombres de la antigüedad y de la edad media sabian acerca del iman se reducia á conocer la propiedad atractiva de este para con el hierro; y si bien no les era enteramente desconocida la repulsion magnética, la atribuian á una especie particular de iman, lo cual se comprende, dada su absoluta ignorancia de la polaridad magnética. Finalmente, tenian las ideas más exageradas y absurdas sobre el poder de los imanes naturales.

Pronto veremos que hácia los siglos XI ó XII de nuestra era se difundió por Europa el conocimiento de otra propiedad importante: el de la fijeza de la direccion de un iman libre con relacion al horizonte de un lugar cualquiera. El uso de la brújula, cuya construccion se basa en esta propiedad fundamental, no tan sólo fué de gran auxilio para la navegacion y para la extension de los conocimientos geográficos, sino que muy en breve hizo posible el estudio más completo de las propiedades del iman, si bien es cierto que este estudio no pudo producir todos sus frutos hasta la introduccion del método científico de observacion experimental. Los antiguos se limitaban á la mera observacion, segun se desprende de todo cuanto nos resta de sus escritos; partiendo de algunos

hechos sencillos que esta les revelaba, y que con frecuencia acogian sin comprobarlos y por lo que oian decir, disertaban ingeniosamente, hay que confesarlo, pero tambien infructuosamente sobre sus causas. Así se explican los escasos progresos que hicieron en las ciencias físicas, y en particular la insignificancia de los datos que recogieron acerca del iman.

III

MAGNETISMO POLAR: ATRACCIONES Y REPULSIONES MAGNÉTICAS

Ocupémonos de los fenómenos de magnetismo polar que presentan los imanes naturales ó artificiales. En los primeros se hallan distribuidos con mucha irregularidad los puntos en que la atraccion es preponderante y á los que se da el nombre de polos, lo cual consiste sin duda en la falta de homogeneidad de la materia de que están formados: así es que los físicos se valen con preferencia de los imanes artificiales en los experimentos á propósito para hacer ostensibles las leyes del magnetismo. Estos imanes son por lo comun barras prismáticas ó varillas cilíndricas de acero. Si se han tomado todas las precauciones convenientes al someter estas masas á la imantacion, los imanes artificiales no tendrán más que dos polos situados á corta distancia de sus extremos. Se les suele dar tambien la forma de láminas tenues de acero, cortadas en losanjes muy alongados, y merced á una pequeña cavidad practicada en su punto medio, se les puede colocar sobre una varilla vertical, sobre un eje, de suerte que estas *agujas imantadas* se mueven libremente alrededor de su punto de suspension, que es su centro de gravedad. Tomemos una de dichas agujas suspendida de tal suerte, y abandonémosla á sí misma. Despues de cierto número de oscilaciones de amplitud decreciente, quedará fija en una posicion de equilibrio tal que el eje de la aguja tendrá siempre la misma direccion en el mismo lugar, es decir, formará con el meridiano un ángulo constante.

Al decir que esta direccion será *siempre* la misma, que el ángulo del eje de la aguja imantada con el meridiano es constante para un mismo lugar, hacemos abstraccion de las variaciones periódicas que experimenta, ya en el mismo dia ó ya con el tiempo, y sólo tenemos en cuenta la direccion media en un espacio de tiempo limitado. Si se suspenden otras agujas del propio modo y se las coloca á distancias bastante grandes entre sí (fig. 5) para que no

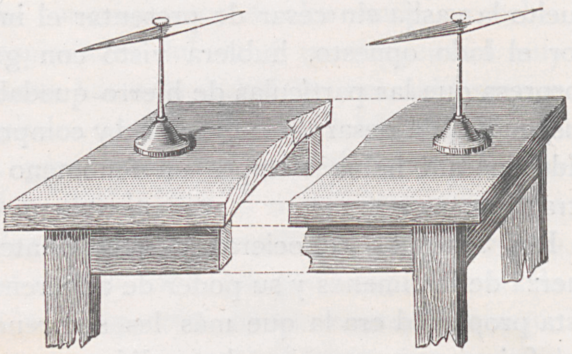


Fig. 5.—Direccion magnética de la aguja imantada

influyan unas en otras, tambien tomarán esta direccion única; sus ejes seguirán siendo paralelos, y si se las separa de su posicion de equilibrio, volverán naturalmente á ocuparla tan luégo como la causa perturbadora haya cesado de obrar.

Se puede hacer este experimento del mismo modo con una barra imantada suspendida por un carton ó una chapa de cobre de un hilo sin torsion. Hay otro modo que consiste en poner la barra ó la aguja sobre un flotador de corcho en la superficie de una vasija llena de agua (figura 6). El iman, despues de girar sobre sí

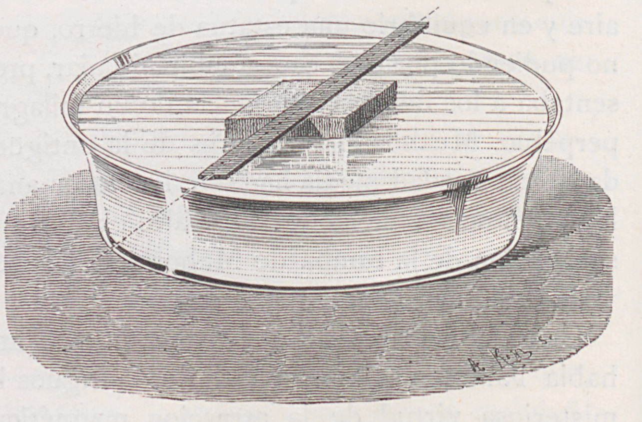


Fig. 6.—Direccion magnética de un iman flotante

mismo y de efectuar algunas oscilaciones alrededor de su centro de gravedad, tomará la direccion constante indicada en el primer experimento.

Esta propiedad fundamental es la que sirve de base para la construccion y el uso de la brújula; más adelante veremos que dimana de la accion magnética del globo terráqueo, y entón-

ces diremos lo que se sabe acerca de la historia de su descubrimiento.

Por lo pronto, va á servirnos para establecer una primera distincion entre los dos polos de un iman. En efecto, no tan sólo es constante la direccion del eje de una aguja ó de una barra imantada, sino que siempre se dirige el mismo extremo hácia igual punto del horizonte. Si se obliga á la aguja á hacer una rotacion de 180° alrededor del punto de suspension, de modo que la direccion de su eje no cambie, y luégo se la abandona á sí misma, al punto se la ve volver á su posicion anterior y quedar fija en ella despues de una serie de oscilaciones. Si, como es costumbre, se marca con una N el polo que mira siempre al norte y con una S el que se vuelve al sur, se notará que estos polos se colocan siempre é invariablemente del mismo modo.

Así pues, cualquiera que sea la fuerza directriz que haga tomar á los imanes libres una orientacion constante, es posible distinguir sus dos polos. Al estudiar la accion de unos imanes sobre otros, encontraremos esta misma distincion.

El sabio inglés Gilbert, médico de la reina Isabel, hizo los primeros experimentos sobre tan importante punto. Para ello hacia flotar sobre el agua imanes cuyos polos habia determinado de antemano, y luégo los acercaba unos á otros, viéndolos desviarse ó acercarse, segun los polos que ponia frente á frente. Hoy se hacen estos experimentos del mismo modo ó con más comodidad, empleando una serie de agujas imantadas movibles sobre otros tantos ejes, ó bien cierto número de barras suspendidas de hilos. Reproduzcamos estos experimentos por cualquiera de ambos medios.

Tomemos dos barras imantadas y suspendámoslas de hilos que pasen por su centro de gravedad. Si están desde luégo bastante separadas una de otra, la fuerza directriz de que acabamos de hablar las mantendrá paralelas. Acerquemos ahora uno de los imanes al otro, y pongamos frente á frente los dos polos que se dirigian al norte; al punto se verá cómo se desvian mutuamente.

Ocurrirá el mismo fenómeno de repulsion si se ponen de frente los dos polos dirigidos al sur. Ahora, acerquemos el polo norte de la primera barra al polo sur de la segunda, y veremos que estos polos, abandonados á sí mismos, se atraerán. Este experimento se puede hacer más fácilmente con dos agujas imantadas, equilibradas sobre sus ejes.

Se pueden comprobar los mismos hechos, sin haber distinguido préviamente los polos, por la similitud de direccion magnética. Supongamos que se reune cierto número de barras imantadas, y que una de ellas M N sirve de barra de

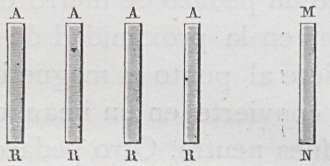


Fig. 7.—Atraccion y repulsion de los polos de los imanes

prueba: presentando un polo dado de cualquiera de las primeras ante los dos polos de esta, habrá atraccion con respecto al uno y repulsion con respecto al otro, ocurriendo el mismo fenómeno con los polos de los demás imánes. Todos los polos atraidos por el M de la barra se llaman *polos del mismo nombre:* señalémoslos con la letra A. Todos los repelidos por el mismo polo M son tambien del mismo nombre, puesto que la accion ejercida sobre ellos es de igual sentido en idénticas circunstancias: marquémoslos con la letra R. Ahora bien, si presentamos el polo opuesto N del iman de prueba á cada uno de los polos de las otras barras imantadas, veremos que repele precisamente todos los polos A y que atrae todos los R; y por consiguiente, de todos modos los dos polos opuestos de un mismo iman son polos de nombres contrarios.

Veamos ahora cómo actúan uno sobre otro dos polos del mismo nombre. Acerquemos dos polos cualesquiera de los señalados con la letra A, ó dos de los marcados con la R; en ambos casos observaremos que se repelen. Si por el contrario, ponemos dos polos de nombre contrario uno delante de otro, notaremos que se atraen; lo cual prueba que, en el experimento anterior, el polo M de la barra de prueba es del mismo nombre que los polos R, y el polo N de igual nombre tambien que los polos A.

Resumamos todo lo dicho en un solo enunciado:

Los polos opuestos de un mismo iman son de

nombre contrario; si la accion de uno de ambos sobre un polo dado es *atractiva*, la del otro es *repulsiva;*

Los polos del mismo nombre de dos imanes cualesquiera se repelen; los de nombre contrario se atraen.

IV

FENÓMENOS DE INDUCCION MAGNÉTICA.—IMANTACION POR INFLUENCIA

Si se pone un pedazo de hierro en contacto con un iman, en la proximidad de uno de los polos, adquiere al punto el magnetismo polar, es decir se convierte en un iman con sus dos polos y su línea neutra. Otro pedazo de hierro puesto en contacto con el primero se imanta á su vez, y así sucesivamente. Dase el nombre de *influencia* ó de *induccion magnética* á los fenómenos de imantacion transitoria que se manifiestan de este modo. Una serie de pedazos de hierro que se sostienen así mutuamente debajo de uno de los polos de una barra imantada, forma lo que se llama una *cadena magnética.* Ya hemos visto que los antiguos conocian este género de imantacion, esta comunicacion momentánea de la virtud magnética.

Cada elemento de la cadena magnética forma un iman completo, con sus dos polos y su línea neutra; las extremidades de dos elementos sucesivos puestas en contacto son polos de nombre contrario. Esto explica la disposicion de las partículas de limadura en los espectros. Examinando las figuras 3 y 4 que representan espectros magnéticos, vemos que las partículas de limaduras forman filas cada una de las cuales se puede considerar como una cadena magnética; las partículas en contacto con el iman se convierten á su vez en otros tantos imanes que atraen á las partículas vecinas, las comunican el magnetismo polar, y así, de unas en otras, engendran nuevas atracciones. En virtud de esto, se comprende la formacion de esas líneas que Faraday llamaba, segun hemos dicho, *líneas de fuerza.*

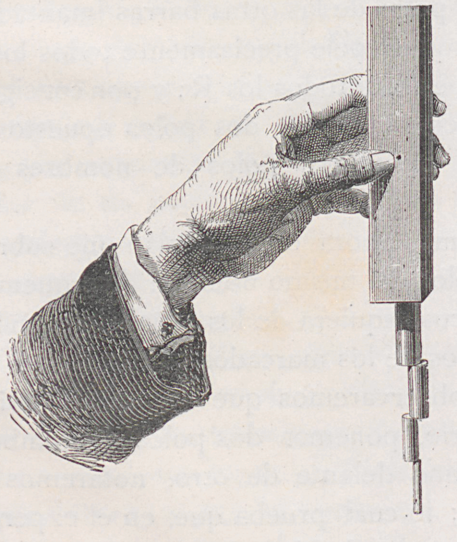


Fig. 8.—Imantacion por influencia por contacto

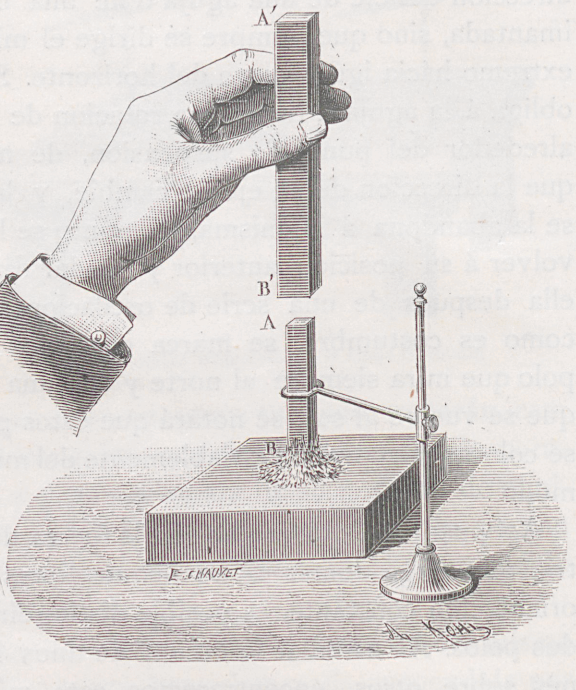


Fig. 9.—Imantacion por influencia á distancia

Cuando la cadena está formada, es fácil poner en evidencia el estado magnético de sus elementos sucesivos metiéndolos entre limadura, ó sacando su espectro. Entónces se distinguen muy bien los imanes transitorios por sus polos y sus líneas neutras.

La imantacion por influencia no se obtiene solamente por contacto, sino que se efectúa tambien á alguna distancia (fig. 9) aunque con tanta menor energía cuanto mayor es la distancia; si bien el límite de accion depende del poder del iman. En la serie de elementos de la cadena magnética, el primer pedazo de hierro, el que está en contacto con el iman, es el que recibe el magnetismo más enérgico; la accion imantada se va debilitando en seguida con la distancia, y un pedazo de hierro cualquiera de la cadena no puede sostener un pedazo del mismo peso que el que le precede.

Hemos dicho que la imantacion por influencia es transitoria: esto supone que el hierro acercado al iman es *hierro dulce;* en este caso, sus propiedades magnéticas se debilitan y desaparecen tan luégo como se le aparta lo bastante para que se halle fuera del campo de accion del iman, ó, como se dice, fuera del *campo magnético*. Si en lugar de hierro dulce, se hiciera uso de acero templado ó de hierro forjado, batido ó torcido, veríase que se imanta por influencia con más dificultad; en cambio, se notaria que conserva por lo ménos una parte de sus propiedades magnéticas cuando está léjos del campo; en cuyo caso la imantacion es permanente. El niquel y el cobalto, combinados con una corta cantidad de carbono, azufre, fósforo, arsénico ó estaño, gozan de la misma propiedad que el acero: conservan el magnetismo polar adquirido por influencia. Cuando describamos los procedimientos de imantacion, entraremos en los detalles necesarios acerca de este punto.

CAPÍTULO II

TEORIA DEL MAGNETISMO

I

HIPÓTESIS DE LOS DOS FLÚIDOS

Tan luégo como se conocieron y analizaron los fenómenos de atraccion y repulsion magnéticas que acabamos de describir, procuróse enlazarlos entre sí mediante una hipótesis á propósito para explicar las propiedades de los imanes y de las sustancias magnéticas, sus acciones recíprocas, la existencia de los polos y de la línea neutra, etc. Los antiguos, que segun hemos visto, tan sólo conocian la atraccion del iman natural sobre el hierro, y cuyas nociones en física eran tan limitadas, no podian emitir sino nociones confusas sobre la causa de este fenómeno (1). Desde Thales que suponia al iman dotado de un alma capaz de mover el hierro, y Claudiano, que consideraba el hierro como el alimento del iman, hasta Lucrecio, que atribuye la atraccion del hierro al vacío producido delante del iman por las emanaciones que este último despide, no hay nada que merezca llamar la atencion. Posteriormente á Gilbert, se han presentado y desechado luégo dos ó tres teorías del magnetismo: la de Æpinus, que admitia en las sustancias magnéticas la existencia de un flúido particular que actuaba en sus moléculas; y la de Eulero, basada en los movimientos de una materia sutil, distinta del éter, que circulaba de uno á otro polo del iman, siempre en el mismo sentido, entrando por uno de ellos y saliendo por el otro para volver sobre sí misma: el célebre geómetra explicaba los fenómenos principales del magnetismo por las acciones de dichos torbellinos y sus reacciones mutuas.

La hipótesis de Coulomb, que vamos á explicar ahora, es la que ha prevalecido, si bien debemos advertir al lector que esta teoría no es otra cosa sino un modo cómodo de enlazar un gran número de hechos que, á no ser por ella, quedarian aislados en apariencia. No nos enseña nada acerca de la causa de los fenómenos, causa que probablemente es la misma que la de los fenómenos eléctricos. Si, como todo induce á creer, la electricidad no es otra cosa sino un modo particular de los movimientos del éter, y si se le consigue definir con toda

(1) «Plutarco dice con referencia á Manethon que los egipcios daban al iman el nombre de *hueso de Horus* y al hierro el de *hueso de Tifon*, para representar la lucha del principio del bien y del mal, en cuya lucha unas veces el bien obliga al mal á ceder, y otras predomina este. En efecto, añade Plutarco, ora el iman obliga al hierro á acercarse á él y le arrastra tras sí, y ora el hierro se desvia del iman y parece repelido en sentido contrario.» (H. Martin.) Segun lo prueba este párrafo, los antiguos conocieron ciertos fenómenos de repulsion magnética, pero sin advertir que se producian entre un iman y otro iman, es decir entre el iman natural y el hierro imantado.

claridad, el magnetismo, conforme más adelante veremos, se hallará enlazado con todas las demás fuerzas físicas, y su teoría no será más que un caso particular de la teoría universal.

Coulomb explicaba todos los fenómenos magnéticos basándolos en la existencia de dos flúidos que gozaban de propiedades opuestas. En su concepto, estos flúidos son distintos de la materia ponderable; lo que así lo prueba, es que un iman adquiere ó pierde sus propiedades especiales sin que la materia de que está formado sufra ninguna modificacion en sus propiedades físicas ó químicas distintas de la propiedad magnética. Así por ejemplo, un pedazo de hierro conserva rigorosamente el mismo peso, la misma constitucion química ántes que despues de su imantacion, sucediendo otro tanto respecto de su volúmen, siempre que su temperatura no varie.

Así pues, los flúidos magnéticos son imponderables. Existen en cantidades iguales en todos los cuerpos magnéticos y se neutralizan ó se combinan en ellos cuando la virtud magnética no se hace patente; por el contrario, se separan cuando estos cuerpos se hallan en estado de imantacion transitoria ó permanente. Para explicar los fenómenos de atraccion y repulsion, la existencia de los polos, etc., se admite que los dos flúidos se atraen mutuamente, al paso que repelen sus propias moléculas. Por esta razon designaremos uno de los flúidos con el nombre de *flúido positivo*, y otro con el de *negativo*.

Los flúidos están separados en un iman natural ó artificial, es decir, en todo cuerpo dotado de magnetismo polar, siendo la accion de cada uno de ellos preponderante en uno ú otro polo, al paso que se va debilitando al alejarse de estos puntos hasta ser nula allí donde existe la línea neutra. Luégo veremos cómo se explica esta distribucion de la accion de los flúidos. Cuando se acerca á uno de los polos de un iman un pedazo de cualquier sustancia magnética, pero no imantada, por ejemplo un pedazo de hierro dulce, el flúido neutro que está diseminado por toda su masa sufre la influencia del flúido del iman acumulado en dicho polo; este flúido repele el del mismo nombre y atrae el de nombre contrario. Hay pues descomposicion de flúido neutro, y el pedazo de hierro dulce se convierte así en un iman transitorio que tiene un polo negativo en el extremo puesto en contacto con el positivo del iman, y un polo positivo en el extremo opuesto. Lo contrario sucederia si se pusiese el hierro en contacto con el polo negativo del iman. Veamos lo que pasa en el primer caso. El flúido acumulado en el polo positivo del iman repele el flúido semejante del hierro en toda la longitud de éste, al paso que el polo negativo atrae el flúido positivo del hierro; pero la repulsion se ejerce á menor distancia de lo que lo hace la atraccion, por cuya razon predomina aquella, originando la formacion de un polo negativo en el extremo del hierro que está en contacto con el polo positivo. Por igual razon se forma un polo positivo en el extremo opuesto.

De aquí resulta que si se imanta por influencia un pedazo de hierro dulce, y luégo se acerca poco á poco al polo puesto en contacto con

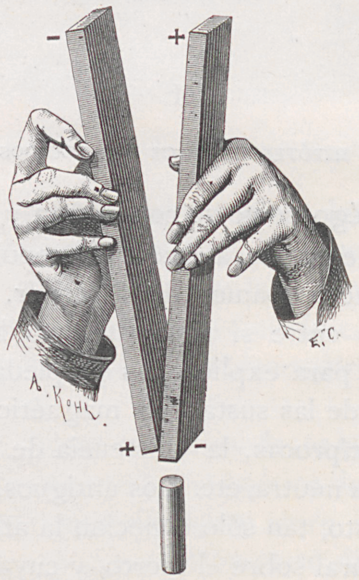


Fig. 10.—Paradoja magnética

el otro iman de la misma fuerza que el primero, pero dispuesto en sentido contrario, la imantacion desaparecerá y el hierro se desprenderá del polo que lo sostenia. El sencillo experimento (fig. 10) mediante el cual se comprueba esta consecuencia de la teoría, se llama *paradoja magnética*. Se puede poner en evidencia esta neutralizacion de un polo positivo por la repulsion de otro negativo, con los dos polos de un mismo iman, lo que prueba además que la intensidad magnética es igual en cada uno de los polos. Cógese una cinta de acero, un muelle imantado de reloj, se le dobla hasta juntar los

dos polos, y acercándolos simultáneamente á una aguja imantada, se ve que no hay ningun efecto de atraccion ni de repulsion.

Dos pedazos de hierro del mismo peso y de igual dimension, suspendidos paralelamente de modo que se toquen por los lados, se desvian uno de otro así que se acerca á uno de sus extremos comunes el polo de una barra imantada. Ambos se imantan á la vez por influencia, pero como sus polos del mismo nombre están frente á frente, hay en ellos repulsion de los flúidos del mismo nombre y por lo tanto desviacion de las partes vecinas de las láminas metálicas.

Admitida la hipótesis de los dos flúidos dotados de propiedades opuestas, falta saber cómo se efectúa su distribucion en las sustancias magnéticas.

Cuando está constituido un iman con sus dos polos y su línea neutra, se pueden hacer dos suposiciones sobre el modo cómo están repartidos en la masa los dos flúidos separados. Antes de la teoría de Coulomb, admitíase que cada flúido está acumulado en una y otra mitad del iman, con una tension tanto mayor cuanto más inmediata á cada polo está la region que se considera. Si así fuese, al separar una de

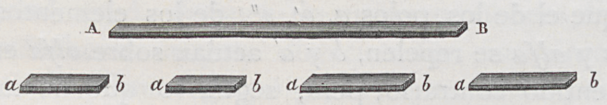


Fig. 11.—Division de una barra imantada: disposicion de los polos en los fragmentos

otra estas mitades, cada parte no contendria más que una especie de flúido. Pero esto es incompatible con el hecho, descubierto por Gilbert, de que si se rompe un iman en dos pedazos, cada uno de estos se convierte á su vez en un iman completo con su línea neutra y sus dos polos y conteniendo por consiguiente en igual cantidad los flúidos positivo y negativo. Tomemos un alambre de hierro imantado, y con unas mordazas, cortémoslo en los pedazos que queramos; cada uno de ellos será un iman distinto, cuyos polos tendrán la misma intensidad que los polos del iman primitivo.

Además, si se examina cómo están dispuestos los polos en los fragmentos, se ve que los de nombre contrario se hallan de frente, es decir en los extremos que ántes de la rotura estaban en contacto, de suerte que todos los polos positivos *a*, *a*... y todos los negativos *b*, *b*,... se hallan situados en el mismo lado que los polos semejantes del iman primitivo.

Hay pues que admitir con Coulomb que los dos flúidos están distribuidos con igualdad en un iman hasta en las partes más pequeñas de la sustancia que lo forma. Estos últimos elementos, cada uno de los cuales contiene en cantidad igual uno y otro flúido, son lo que se llama *elementos magnéticos*. Fáltanos explicar en qué difieren los imanes de las sustancias magnéticas no imantadas, y tambien demostrar cómo se forman los polos, la línea neutra y los puntos consecuentes.

Para explicar mediante la existencia de los elementos magnéticos en qué pueden diferir los imanes de las sustancias puramente magnéticas, es preciso admitir que, en el primer caso, los flúidos opuestos de cada elemento quedan separados por efecto de una fuerza particular á la que se ha dado el nombre de *fuerza coercitiva*. En las sustancias no dotadas de magnetismo polar, como el hierro dulce, no existe esta fuerza; así es que la imantacion por influencia tan sólo subsiste miéntras el iman está próximo al hierro ó en contacto con él; entónces la separacion de los flúidos ó su descomposicion en cada elemento magnético se debe únicamente á la accion de los polos del iman. Tan luégo como á este se le aparta, dichos flúidos se recomponen.

Acabamos de decir que la fuerza coercitiva se opone á la reunion de los flúidos; por lo regular se opone á su movimiento, y por consiguiente, lo mismo á su separacion que á su reunion. En efecto, los cuerpos susceptibles de adquirir el magnetismo polar *permanente*, como el acero templado, son á la vez los que se imantan más difícilmente, y los que, despues de imantados, conservan más tiempo su imantacion. Así es que un pedazo de acero templado apénas sufre la accion atractiva de un iman; la fuerza coercitiva que une los elementos magnéticos se opone á su separacion.

Veamos ahora cómo da cuenta la teoría de la constitucion de un iman, es decir, de un cuerpo magnético cuyas moléculas todas están polarizadas, como el iman entero, y cuyos dos flúidos están separados en las extremidades

opuestas de cada molécula por la fuerza coercitiva.

Sea (fig. 12) una serie de partículas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7..... que presentan una á otra sus po-

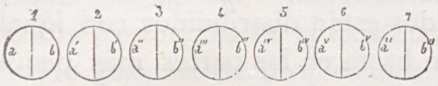


Fig. 12.—Acciones recíprocas de los elementos magnéticos

los opuestos, es decir, orientados en el sentido de la línea de los polos del iman.

La fuerza coercitiva propende á separar los flúidos en cada elemento. Pero cada partícula ejerce además sobre la que la precede y la que la sigue una accion que vamos á analizar.

Consideremos el elemento 1. El polo a' de 2 repele á a y atrae á b; luego actúa en el mismo sentido que la fuerza coercitiva; b' actúa evidentemente en sentido contrario, pero á mayor distancia, y por lo tanto prepondera la primera accion. El elemento 3 influye tambien en 1, pero con menor intensidad que 2, y así sucesivamente; la accion de un elemento sobre cualquiera de los que le preceden produce el mismo efecto que si aumentara la fuerza coercitiva de estos últimos. Claro está que se obtendria el mismo resultado si se analizara la influencia de cada elemento sobre los que le siguen. En ambos casos, esta influencia tiende á aumentar la fuerza coercitiva de cada elemento, pero es tanto menor cuanto más considerable la distancia á que se ejerce.

Réstanos ahora comparar los elementos de una misma fila ó serie por lo que respecta á la intensidad total que para cada una de ellas resulta de estas influencias mutuas. Supongamos que la serie 1, 2,.... 7 se extiende del polo positivo á su polo negativo, ó más bien, de un extremo á otro de la barra. El elemento 1 sufre la accion de los seis elementos situados á distancias crecientes: llamemos f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, á las fuerzas de valores decrecientes que miden las influencias de estos seis elementos. Su resultante F será $F' = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6$. Pasemos al elemento 2 y sea F' la resultante correspondiente, tendremos $F' = 2 f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5$; para el elemento 3, tendremos $F'' = 2 f_1 + 2 f_2 + f_3 + f_4$, y por último el elemento de en medio ó 4 dará $F''' = 2 f_1 + 2 f_2 + 2 f_3$. Por el otro lado, las resultantes tendrian los mismos valores en sentido inverso. Luego la simple comparacion de estas varias resultantes prueba que crecen hasta la mitad de la serie.

Así pues, la imantacion de los elementos de una barra imantada es más enérgica en su parte media, y esta imantacion va disminuyendo progresivamente del medio á cada extremo.

Esta consecuencia de la teoría parece á primera vista singular, paradójica, toda vez que la experiencia prueba que la accion de un iman es más fuerte en los extremos. Pero fácilmente veremos que la contradiccion es tan sólo aparente.

Para ello, procuraremos comprender la accion de una fila de elementos magnéticos sobre un punto exterior *alfa*, que supondremos que contiene un flúido magnético del mismo nombre

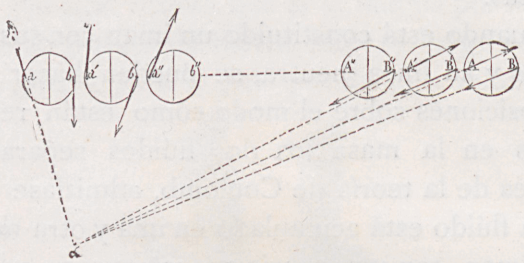


Fig. 13.—Accion de una fila de elementos magnéticos sobre un punto exterior

que el de los polos a, a', a'', de los elementos. a y *alfa* se repelen, b y a' actúan sobre *alfa* en sentido contrario; pero, segun lo que hemos visto, a' es mayor que b, luego la fuerza repulsiva prevalecerá; otro tanto sucederá con b' y a'' de los dos elementos siguientes. Sólo que, como la diferencia de un elemento á otro va disminuyendo hasta el medio, la fuerza repulsiva irá disminuyendo á su vez hasta este punto, y por consiguiente la resultante de todas estas fuerzas repulsivas decrecientes tendrá su punto de aplicacion inmediato al extremo de la serie. Este punto será el polo de la barra imantada relativamente al punto exterior.

Del propio modo se veria que los elementos de la segunda mitad ejercen en *alfa* acciones atractivas tanto mayores cuanto se consideren elementos más cercanos al extremo opuesto de la barra, que tendrá un polo de nombre contrario al primero en un punto inmediato á este extremo.

Así se explica la existencia de los polos de los imanes, cada uno de los cuales es el punto

de aplicacion de fuerzas opuestas, polos que son relativos al punto exterior que se considera, y que cambian cuando el punto se acerca ó se aleja. Cuando la distancia de este es infinita ó se la puede considerar como tal, las resultantes de las fuerzas magnéticas son paralelas, y á los polos correspondientes se les puede dar con propiedad el nombre de *polos* del iman. Vamos ahora á ver que se realiza este caso con un iman libre abandonado á sí mismo, es decir, influido solamente por el magnetismo de la Tierra.

II

LA ACCION DE LA TIERRA SOBRE LA AGUJA IMANTADA SE PUEDE CONSIDERAR COMO LA DE UN IMAN

La teoría de los dos flúidos magnéticos de Coulomb explica los fenómenos de atraccion de los imanes, sus acciones recíprocas, y la imantacion por influencia á cierta distancia ó por contacto; mejor dicho, es la traduccion fiel de estos fenómenos y de las circunstancias en que se hacen patentes. Resta decir cómo explica la direccion magnética.

Hemos visto que una barra imantada suspendida libremente, ó que una aguja imantada que puede moverse alrededor de su centro de gravedad, queda despues de un corto número de oscilaciones en una direccion fija, constante para un mismo lugar, ó por lo ménos sólo experimenta lentas variaciones seculares ó leves variaciones periódicas. Prescindamos por el momento de estas variaciones, y veamos cuál puede ser la explicacion de la direccion constante de los imanes.

Pero ántes recordemos los hechos para precisarlos.

Consideremos una *aguja imantada* ó losanje de acero dotado de la propiedad comun á los imanes, es decir con un polo en cada extremo y la línea neutra en el centro. Un iman de esta clase suspendido horizontalmente de un hilo sin torcer, ó centrado sobre un eje mediante una chapita de ágata (fig. 14), de modo que pueda girar libremente en todas direcciones, acaba siempre, despues de oscilar un poco, por tomar en el plano horizontal una direccion determinada, casi invariable, ó á lo sumo sujeta á variaciones de escasa amplitud.

Los navegantes han aprovechado hace ya siglos esta propiedad de la aguja imantada de dirigir uno de sus polos hácia el horizonte septentrional. Sin embargo, no mira precisamente al mismo norte, y por esto el plano vertical que pasa por sus polos no coincide con el plano meridiano del lugar. El ángulo de estos dos

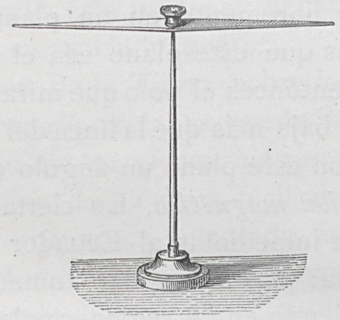


Fig. 14.—Aguja imantada

planos es lo que se llama *declinacion de la aguja imantada* ó simplemente *declinacion.* En el capítulo consagrado al *Magnetismo terrestre* veremos que la declinacion no es la misma en todos los lugares de la Tierra, que en ciertas regiones es nula, que en algunas es oriental y en otras occidental, y además, que en el mismo lugar varía con el curso de los siglos. Hoy en Paris la declinacion es occidental y viene á ser igual á unos 16°56′, es decir, que el plano vertical que pasa por los polos de la aguja imantada,—plano que se llama *meridiano magnético,* —forma con el plano meridiano geográfico ó meridiano un ángulo de 17° próximamente. Uno de los polos de la aguja está casi dirigido al N. N. O.

Es muy fácil comprobar con una aguja de coser imantada esta constancia en la direccion de los imanes suspendidos libremente en un plano horizontal. Colocándola sobre un pequeño flotador de corcho puesto en un agua perfectamente tranquila, la aguja, sin desviarse horizontalmente, gira sobre sí misma y toma la direccion que acabamos de indicar. Recordemos que, por otra parte, hay entre los dos polos de la aguja una diferencia muy caracterizada; porque, si cuando está en equilibrio, se la vuelve de modo que sus extremos ocupen puntos diametralmente opuestos, no conserva esta nueva posicion, áun cuando la direccion que se le haya dado sea idéntica á la primera; en este caso se la ve girar sobre sí misma, describir

una semi-circunferencia y recobrar su posicion anterior, de suerte que siempre vuelve al Norte el mismo polo.

Si en vez de poner la aguja imantada de modo que pueda girar libremente en un plano horizontal, se la suspende por su centro de gravedad alrededor de un eje horizontal, tambien podrá girar libremente en un plano vertical. Supongamos que este plano sea el meridiano magnético; entónces el polo que miraba al norte se inclina y baja más que la línea del horizonte, formando con este plano un ángulo que se llama *inclinacion magnética*. En ciertas regiones de la Tierra inmediatas al Ecuador la inclinacion es nula; por lo regular aumenta con la latitud, habiendo en las regiones polares puntos en que este ángulo es recto, por mantenerse allí la aguja imantada en posicion vertical. Si pasamos al hemisferio sur, reconócese tambien que á partir de los puntos en que la inclinacion es nula va creciendo con la latitud; pero entónces no es ya la misma punta de la aguja la que se inclina hácia el suelo, sino que es el extremo sur el que baja á medida que nos acercamos al polo austral de la Tierra.

Puédese arreglar una aguja imantada de modo que se coloque por sí misma en el meridiano magnético, y se incline hácia el horizonte como acabamos de decir. La fig. 15 representa esta disposicion: como se ve, la aguja puede girar alrededor de un eje horizontal que pasa por su centro, cuyo eje está apoyado en una horquilla suspendida de un hilo sin torcer. El conjunto empieza por oscilar hasta que la aguja está en el plano magnético, y allí queda inclinada en una posicion constante, formando con la vertical un ángulo igual á la inclinacion del lugar. Pronto tendremos ocasion de describir los instrumentos con los cuales se puede medir con precision la inclinacion y declinacion de la aguja imantada. Estos instrumentos son los que se llaman brújulas.

Vése por lo que precede que un iman suspendido libremente por su centro de gravedad, es decir, sustraido á la influencia de la grave-

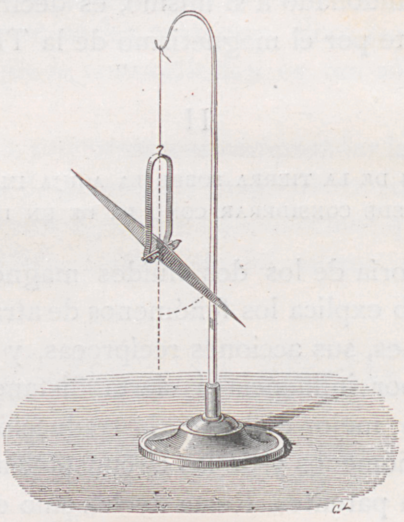


Fig. 15.—Aguja imantada marcando á la vez la inclinacion y la declinacion

dad, toma en el espacio una direccion fija, particular á cada lugar, direccion que, segun hemos dicho, puede variar con el tiempo.

¿Cuál es la causa de esta fijeza en la direccion de la aguja imantada? En un principio se creyó que estaba fuera de la Tierra, y Cardan supuso que la fuerza directriz residia en una estrella de la Osa Mayor; pero en su tiempo se conocian imperfectamente los fenómenos magnéticos. Gilbert fué el primero que formuló la hipótesis, admitida aún en la actualidad, que

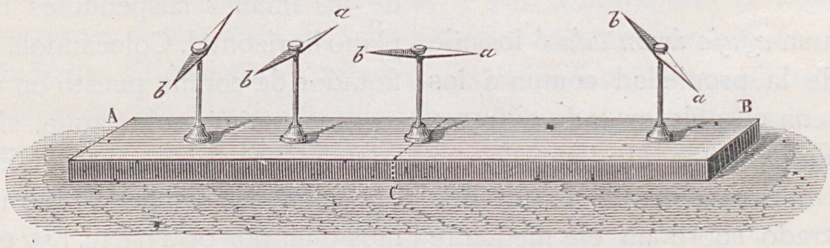


Fig. 16.—Accion de un iman sobre la aguja imantada

asimila el globo terráqueo entero á un iman cuya línea neutra está en los puntos en que la inclinacion es nula, y sus polos situados en una y otra de las regiones polares de la Tierra.

Hé aquí en qué serie de experimentos está basada esta analogía.

Coloquemos sucesivamente una aguja imantada en los varios puntos del eje ó de la línea de los polos de una gruesa barra imantada (fig. 16): en todas estas posiciones, el eje de la aguja y el del iman fijo se hallarán en el mismo plano, y los polos de nombre contrario vueltos

hácia el mismo lado. Si la aguja estuviese sola, se volveria en el sentido del meridiano magnético. La accion directriz de la barra prevalece pues en este caso sobre la accion directriz de la Tierra, en razon de la escasa distancia de los polos del iman fijo comparada con la del iman terrestre.

Compruébase además que si la aguja puede moverse alrededor de un eje horizontal, queda paralela al eje de la barra cuando su centro está sobre la línea neutra; que se inclina hácia el polo al cual se la acerca, bajando hácia él su polo de nombre contrario, y que el ángulo de inclinacion es tanto mayor cuanto más cerca de uno ú otro polo está la aguja.

Se puede hacer el mismo experimento en la forma que representa la fig. 17. Colócase una

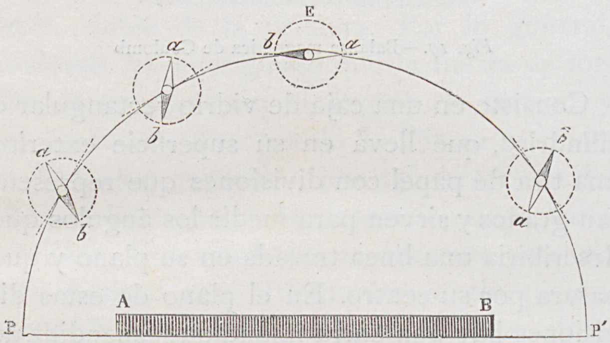


Fig. 17.—Asimilacion del globo terráqueo á un iman

brujulita en los diversos puntos de una circunferencia que simula un meridiano terrestre, y un iman AB puesto en el diámetro de esta circunferencia figura el iman terrestre. En estas posiciones sucesivas, la aguja inclina siempre uno de sus extremos hácia el polo contrario más próximo, y la inclinacion va creciendo desde el punto medio, es decir desde el ecuador E, en que es nula, hasta las extremidades boreal y austral P y P′ del meridiano, esto es, en puntos inmediatos á los polos de la Tierra. Los experimentos que acabamos de describir demuestran que la aguja imantada se conduce relativamente al globo terráqueo considerado como un iman del mismo modo que en presencia de un iman bastante poderoso é inmediato para contrabalancear la accion de la Tierra.

Hé aquí otros hechos que militan tambien en favor de esta teoría. Un iman actúa sobre el hierro dulce descomponiendo por influencia el flúido que contiene. El iman terrestre ejerce una accion semejante en las barras de hierro que se colocan verticalmente, y esta imantacion pasajera es la más fuerte si la barra, en lugar de estar vertical, se coloca en el meridiano magnético, paralelamente á la aguja de inclinacion. Más adelante veremos cómo se puede hacer permanente el magnetismo transitorio que desarrolla esta influencia del iman terrestre sobre una sustancia magnética.

La accion de la Tierra sobre los imanes es simplemente *directriz;* no puede imprimirles, y no les imprime en efecto, ningun movimiento de traslacion, lo cual es fácil de comprobar poniendo una aguja imantada en un corcho flotante. Hemos visto ya que la aguja se vuelve entónces en la direccion constante del meridiano magnético del lugar, pero sin desviarse en ningun sentido. Si la accion de la Tierra fuese una fuerza sola, este experimento probaria ya que dicha fuerza no tiene componente *horizontal:* tampoco la tiene *vertical,* porque entónces esta componente obraria en el sentido de la gravedad y por consiguiente alteraria el peso. Pero si se pesa con cuidado una barra de acero y se la imanta en seguida, se verá despues de la imantacion que el peso no ha aumentado ni disminuido. Este experimento, que da el mismo resultado en cualquier direccion en que se coloque la aguja, data del tiempo de Gilbert.

Así pues, no se puede asimilar la accion directriz de la Tierra más que á la de dos fuerzas opuestas, paralelas é iguales; ó sea á lo que se llama un *par.* La hipótesis del globo terráqueo identificado con un iman gigantesco cuyos dos polos estuvieran situados en las regiones polares é inmediatos á los polos astronómicos, resulta así justificada. Y en efecto, una aguja

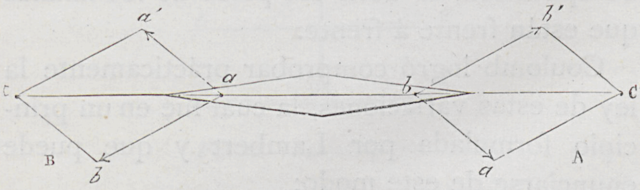


Fig. 18. —Accion de los polos magnéticos terrestres sobre una aguja imantada: par director

imantada suspendida libremente en un punto de la superficie de la Tierra está sujeta en cada uno de sus polos á las acciones opuestas de los polos del iman terrestre; el polo sur *b* de la aguja es atraido y el norte *a* repelido por la

fuerza magnética del polo austral terrestre; y como las dimensiones de la aguja son infinitamente pequeñas con relacion á la distancia de este polo, las dos fuerzas de sentido contrario *ba*, *aa'*, son iguales. Del propio modo, el polo boreal terrestre B atrae el polo norte *a* de la aguja y repele el sur por dos fuerzas *ab* y *bb'* iguales y opuestas. Las resultantes *a* C y *b* C' de estos dos pares de fuerzas serán pues iguales y opuestas, y propenderán á hacer girar á la aguja alrededor de su centro de gravedad hasta que su eje coincida con su direccion: tal es la posicion de equilibrio que representa la figura 18.

El par director varía de intensidad y de direccion, segun la posicion geográfica del lugar en que está la aguja imantada, es decir, segun la direccion que esta aguja ocupa relativamente á los polos del iman terrestre. Así se explican las variaciones de los ángulos de declinacion y de inclinacion que el observador advierte á medida que cambia de lugar en la superficie de la Tierra.

III

LEY DE LAS ATRACCIONES Y DE LAS REPULSIONES MAGNÉTICAS

Los imanes actúan unos sobre otros, ya por repulsion cuando se ponen en presencia sus polos de igual nombre, ya por atraccion cuando estos polos son de nombre contrario. El sentido de los movimientos está pues indicado por esta primera ley de las repulsiones y atracciones magnéticas; pero esta ley no dice cómo varian las intensidades de las fuerzas cuando se hace variar la distancia que separa sus puntos de aplicacion, es decir los polos de los imanes que están frente á frente.

Coulomb logró comprobar prácticamente la ley de estas variaciones, la cual fué en un principio formulada por Lambert y que puede enunciarse de este modo:

Las atracciones ó repulsiones que los polos de dos imanes ejercen uno sobre otro están en razon inversa del cuadrado de la distancia que separa dichos polos.

Para comprobar la exactitud de esta fórmula, Coulomb se valió de un aparato análogo á la balanza de torsion que le habia servido para medir las fuerzas eléctricas y de la cual nos ocuparemos en su lugar: dicho aparato es la balanza magnética, representada en la fig. 19.

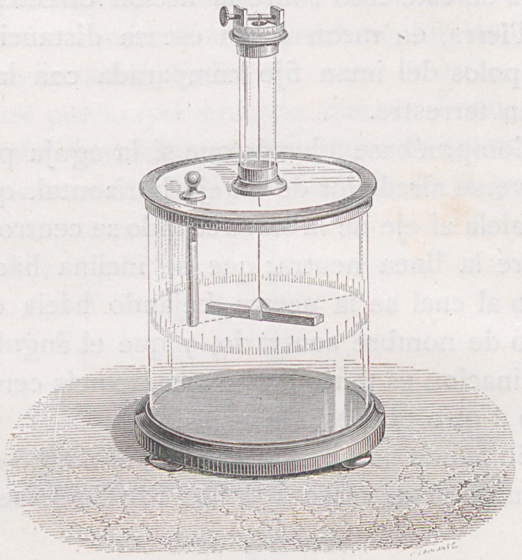


Fig. 19.—Balanza magnética de Coulomb

Consiste en una caja de vidrio rectangular ó cilíndrica, que lleva en su superficie exterior una tira de papel con divisiones que representan grados y sirven para medir los ángulos que describiria una línea trazada en su plano y que pasara por su centro. En el plano de estas divisiones hay una barra imantada suspendida de un hilo, de modo que su centro de gravedad coincide con el de la circunferencia. El hilo de suspension penetra exteriormente en un cilindro de vidrio adaptado á la parte superior de la caja, y se enrolla en un pequeño eje horizontal sostenido en dos piés que forman parte de una placa ó disco movible. Esta placa reposa á frotamiento suave sobre un micrómetro cuyas divisiones sirven para medir el ángulo de torsion del hilo, cuando se le hace girar sobre sí mismo por medio de dicha placa ó disco.

Véase cómo se hace uso del aparato de Coulomb para comprobar la ley de las repulsiones magnéticas.

Empiézase por determinar la posicion de equilibrio del hilo, es decir, la posicion en la cual no experimenta ningun efecto de torsion. Se obtiene este resultado sustituyendo provisionalmente la barra imantada por otra no imantada del mismo peso, y tomando nota de la division del círculo en la cual se detiene. Entónces se vuelve á poner en su sitio el primer iman, que, por efecto de la fuerza directriz de

la Tierra, se sitúa por sí mismo en el meridiano magnético, direccion que forma cierto ángulo con la primera. Claro está que si se corre el micrómetro este mismo ángulo, en sentido contrario al del movimiento que ha efectuado el iman, este último queda en el meridiano magnético, pero el hilo ha vuelto á su posicion de equilibrio, y en tal momento la torsion es nula.

Hecho esto, se separa el iman de esta posicion inicial, es decir, del meridiano magnético, por medio de un movimiento impreso al micrómetro: supongamos que la separacion sea de 2° y que el micrómetro haya corrido 72°; la diferencia 70° representa la fuerza de torsion del hilo, la cual equilibra la fuerza directriz de la Tierra. Para obtener doble desviacion, esto es, de 4°, seria preciso correr el micrómetro 144°, la fuerza de torsion seria entónces 140°, es decir, doble de la primera. Por lo general, Coulomb ha averiguado que la fuerza de torsion es proporcional al ángulo de torsion y que la fuerza directriz de la Tierra se mide, en este caso particular, por 35° de torsion del hilo por cada grado de desviacion de la barra imantada. Con una barra de diferente potencia seria distinto este último número, sin que dejase de haber proporcion entre la fuerza directriz y el ángulo de torsion del hilo.

Despues de haber efectuado estos experimentos preliminares, Coulomb pasó á estudiar las influencias recíprocas de los imanes. Colocada en el meridiano magnético la barra imantada suspendida, introdujo por una abertura de la cara superior de la caja otra barra imantada, bajándola verticalmente para poner frente á frente los polos del mismo nombre de los dos imanes. Al punto se dió á conocer la repulsion magnética; la barra movible se desvió de la primera cierto ángulo, ó sea uno de 24°. Girando el micrómetro dos circunferencias, Coulomb puso la barra en una nueva posicion, esto es, á 17° del meridiano magnético; y luégo otra vez cinco circunferencias, la llevó á 12°.

En cada una de estas tres posiciones, la fuerza repulsiva de los dos imanes equilibraba dos fuerzas, la directriz de la Tierra, que se obtiene multiplicando 35° por la desviacion de la barra, y la de torsion indicada por la rotacion micrométrica, aumentada con la desviacion de la barra. Así pues, para medir esta fuerza repulsiva en las tres posiciones del experimento, tenemos:

1.ª posicion. .	$24 \times 35^0 + 24$	ú	864°
2.ª » . .	$17 \times 35^0 + 17 + 1080°$	ó	1692°
3.ª » . .	$12 \times 35° + 12 + 2880°$	ó	3312°

Estos tres últimos números están, á corta diferencia, en razon inversa de los cuadrados de los números 12, 17 y 24, es decir, de los cuadrados de las distancias que separan los polos de los imanes puestos de frente. Del mismo modo se miden las fuerzas atractivas, poniendo el iman vertical de modo que los polos de nombre contrario estén frente á frente. Sólo que entónces se debe correr el micrómetro en sentido contrario, para desviar los polos á varias distancias. La ley que resulta para las fuerzas atractivas es tambien la misma, de suerte que á las dos leyes que acabamos de comprobar se puede aplicar este enunciado comun:

Las atracciones y repulsiones de los polos de dos imanes están en razon inversa de los cuadros de las distancias que los separan.

Coulomb ha comprobado tambien por otro método la ley que dejamos enunciada: este método es el de las oscilaciones. Si á una aguja imantada libremente suspendida se la desvia de su posicion de equilibrio, es decir, del plano del meridiano magnético, y en seguida se la abandona á sí misma, oscila como un péndulo. Supongamos que se cuenta el número de oscilaciones efectuadas por segundo. Si colocamos ahora verticalmente en el meridiano magnético un iman con uno de sus polos inmediato al polo de la aguja, y cuya longitud sea la suficiente para que se pueda considerar que el polo opuesto

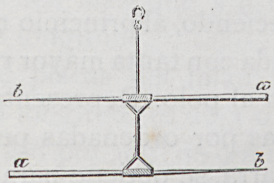


Fig. 20.—Agujas astáticas

no influye de modo alguno en la aguja, las oscilaciones de esta aumentarán en número. Comparando los cuadrados de los números de oscilaciones en ambos experimentos, se tendrá la relacion de las fuerzas magnéticas que actúan sobre la aguja imantada. Se repetirá el experimento poniendo sucesivamente el iman á dis-

tancias dobles, triples, etc., y se contarán de nuevo los números de oscilaciones. Eliminando la fuerza magnética terrestre, quedará la relacion entre las fuerzas magnéticas del iman en las distancias experimentadas, con lo cual se vuelve á deducir la misma ley de la razon inversa del cuadrado de la distancia.

Más sencillamente se obtiene el mismo resultado con una aguja imantada llamada *astática*. Dáse este nombre á un sistema de dos agujas iguales, de la misma intensidad magnética, fijas paralelamente en una misma montura, y enfrente uno de otro los polos contrarios. Este sistema se halla libre de la accion directa de la Tierra, que actúa en sentidos opuestos sobre los polos que están de frente, y por consiguiente los cuadrados de sus oscilaciones en presencia de un iman representan las fuerzas magnéticas de éste, sin que sea menester eliminar la accion de la Tierra.

IV

DISTRIBUCION DEL MAGNETISMO EN LOS IMANES

Los dos métodos que sirvieron á Coulomb para formular la ley general de las atracciones y repulsiones magnéticas, le permitieron estudiar la distribucion de la fuerza magnética de un iman, es decir, la variacion de esta fuerza de una punta á otra de la barra imantada.

Sea AO una de las mitades de un iman pris-

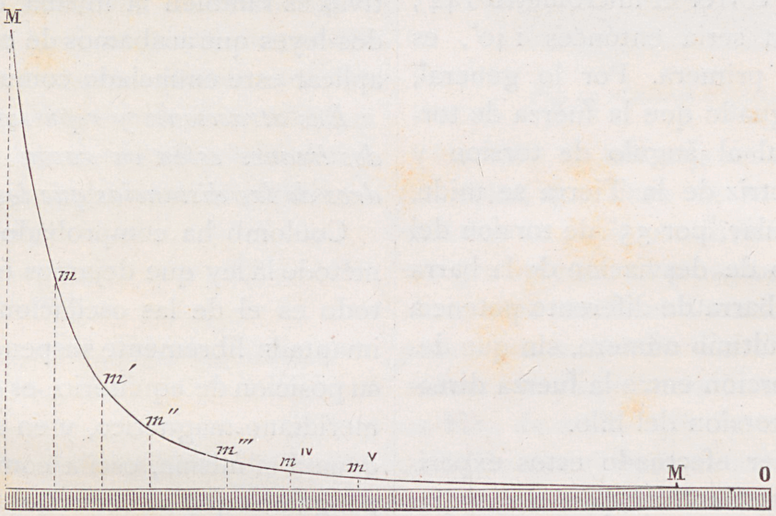


Fig. 21.—Distribucion del magnetismo en un iman

mático que tenga reducidas dimensiones trasversales comparativamente á su longitud, O es su mitad ó su línea neutra, y A la extremidad inmediata á uno de los polos. Coulomb ha reconocido que la fuerza magnética, nula en la parte media, va creciendo, al principio muy despacio, pero en seguida con tanta mayor rapidez cuanto más se acerca al polo. Representando las fuerzas magnéticas por ordenadas perpendiculares al eje de la barra, se obtiene para figurar la ley de la distribucion una curva como M *m* M cuya ordenada mayor corresponde al estremo de la barra.

En un iman entero, la curva se compondrá de dos brazos con frecuencia iguales, uno de los cuales se deberá trazar en sentido inverso al otro (fig. 22), para expresar la oposicion de las acciones ejercidas á una y otra parte de la línea neutra, ó si se quiere la diferencia específica de los dos flúidos libres en cada mitad del iman (1).

No siendo los polos otra cosa sino los puntos de aplicacion de las resultantes de las fuerzas magnéticas en cada mitad de la barra, se averigua su posicion proyectando sobre el eje el centro de gravedad del área de cada una de las curvas. Coulomb ha deducido que la curva de distribucion del magnetismo es la misma en imanes de longitud diferente, con tal que esta longitud exceda de 20 centímetros; pero el es-

(1) Merced á los espectros magnéticos obtenidos con partículas de limaduras de hierro que se agrupan alrededor de los polos de una barra imantada, se puede formar una idea de la distribucion magnética en los diferentes puntos de la misma; la convergencia de las curvas indica claramente la posicion de los polos ó de los puntos de aplicacion de las resultantes de las fuerzas magnéticas; las longitudes de las filas en los varios puntos de la longitud de la barra están en razon inversa de la intensidad de estas fuerzas. Pero ninguna de estas indicaciones tiene la precision que resulta de las mediciones directas efectuadas por el método de Coulomb ó por otros más recientes.

pacio neutro en que la intensidad magnética es perceptiblemente nula, y que forma la parte media de la barra entre las dos curvas, es mayor ó menor; siéndolo tanto más cuanto

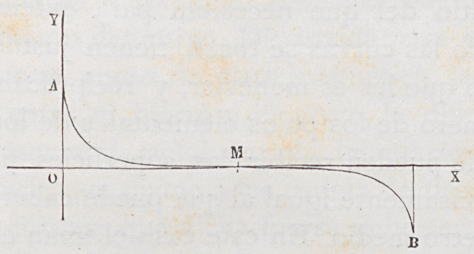


Fig. 22.—Curva completa de la distribucion magnética

más excede á su vez de 20 centímetros la longitud del iman. Ha averiguado tambien que los polos de los imanes que pasan de esta dimension están siempre á igual distancia de los extremos, la cual es de unos 4 centímetros. Las curvas de los imanes más pequeños se reducen á líneas rectas inclinadas sobre el eje y atravesando la parte media, en cuyo caso los polos se hallan situados casi en el tercio de la longitud de la barra.

Todas estas investigaciones se refieren á imanes cilíndricos ó prismáticos imantados regularmente; cuando los imanes tienen puntos consecuentes ó son de distintas formas, la distribucion no sigue la misma ley. Las agujas imantadas en forma de losanje tienen sus polos tanto más próximos al centro cuanto ménos largo es el losanje.

El físico francés Jamin ha hecho recientemente importantes investigaciones sobre la distribucion del magnetismo en los imanes: vamos á resumir sus principales resultados.

Para medir la potencia de un iman, Jamin se vale de un método que «consiste en colocar sobre el punto que se desea estudiar un pequeño contacto de prueba, de hierro dulce, y en medir la fuerza de arranque, en gramos, merced á un muelle graduado que se distiende poco á poco. Pero como esta fuerza depende del grueso y de la forma de dicho contacto, es necesario fijar sus dimensiones, si se quiere referir todas las medidas á una unidad determinada y que se pueda reproducir fácilmente. M. Jamin toma por unidad la fuerza correspondiente á un alambre de un milímetro cuadrado de seccion y de longitud indefinida. En la práctica, se sirve de una esferilla de hierro dulce suspendida de la cruz de una balanza, y puesta en contacto con la superficie del iman. En el otro brazo de la balanza funciona el muelle que se va distendiendo y enrollando á un eje que lleva un círculo graduado, hasta que sobreviene el arranque. De este modo se puede medir en cada punto de la superficie del iman la fuerza necesaria para el arranque de la esferilla de hierro dulce. Este procedimiento es el que se conoce con el nombre de *clavo de prueba*, y gracias á él se pueden trazar las curvas de distribucion del magnetismo en un iman (1). Formando haces de un número creciente de placas (2), Jamin ha comprobado que las curvas se elevan á medida que el número de aquellas aumenta; pero sus dos partes se acercan una á otra y á la parte media del iman. En cierto momento se reunen en el medio. «A partir de este momento, dice, el haz ha llegado á su máximun, y aunque se añadan placas no varía su intensidad en cada punto: si se le deshace para estudiar separadamente cada una de las filas que lo componian, se ve que han perdido una parte tanto mayor de su imantacion primera cuanto más placas se habian colocado. En resúmen, cualquier aumento en el número limitado de placas es enteramente inútil, y no se hace más que gastar infructuosamente el acero.» M. Jamin da el nombre de *iman normal* al haz formado de este modo, el cual posee la notable propiedad de que la curva de las intensidades magnéticas se reduce á una recta, y sus polos están en el tercio de la semilongitud. Este es el caso, reconocido por Coulomb, en que los imanes de 2 líneas ($4^{mm},5$) de diámetro, no tienen más que 5 á 6 pulgadas (135 á 162^{mm}) de longitud.

El número de placas del iman normal va creciendo con su longitud; es de 3 ó 4 por 100 milímetros; de 6 á 8 por 200; de 9 á 14 por 300. Es difícil precisar más, porque la fuerza, que al principio crece rápidamente con el número de láminas, en seguida pasa muy despacio al máximum.

¿Cómo se distribuye la fuerza magnética por

(1) Siendo la fuerza de arranque proporcional al cuadrado de la intensidad magnética, se pasa fácilmente de una ú otra.

(2) Coulomb y Nobili habian estudiado ya el estado magnético de los haces formados de láminas superpuestas, y averiguado que reaccionan unas sobre otras, de suerte que su fuerza magnética dista mucho de crecer con el número de láminas.

el interior de un iman, por ejemplo, de una barra magnética? De los experimentos de Coulomb se podia inferir que la intensidad de dicha fuerza va disminuyendo de fuera adentro, y en efecto, M. Jamin ha probado que la imantacion penetra en el acero á profundidad finita, y ha averiguado además el límite de esta profundidad y la ley del decrecimiento de la intensidad desde la superficie hasta este límite. Considera una barra imantada como si estuviera compuesta de filetes ó cadenas elementales, formadas de pequeños imanes que se siguen y se unen por sus polos contrarios. Estos filetes son inactivos en toda su longitud, excepto en cada extremo, donde hay un solo polo libre. En las barras prismáticas se extienden paralelamente al eje hasta los extremos en los cuales se desparraman divergiendo. Los experimentos hechos en series de láminas de acero de espesor creciente le demostraron que los filetes elementales penetran á 3 ó 4 milímetros de profundidad, de lo cual dedujo que no hay imantacion en el centro de una barra gruesa de acero; los filetes elementales no empiezan á aparecer hasta unos 3 ó 4 milímetros de distancia de su superficie, pero se multiplican y oprimen cada vez más contra su superficie libre.

Resulta de aquí que despues de una imantacion determinada, los filetes magnéticos cuyo conjunto constituye el iman, son en número proporcional á la profundidad en que la imantacion ha penetrado y al perímetro de la seccion media. «Si el perímetro aumenta ó disminuye, dice Jamin, este número crece ó decrece proporcionalmente; por consiguiente la cantidad de magnetismo del iman está regulada exclusivamente por la seccion media y no depende en modo alguno de la forma y de la extension en longitud de los aceros. Hay sin embargo una condicion, y es que estos filetes hallan hácia los extremos superficies polares suficientemente extensas para dilatarse por ellas. Si el acero es muy largo, los polos elementales se relegan á los extremos, y las dos curvas de intensidad magnética distan mucho entre sí. Si la longitud disminuye, estas curvas se acercan sin modificarse y sin que la cantidad de magnetismo cambie, y si el acero disminuye sin cesar, acaban por encontrarse. A partir de este momento, se penetran, se transforman en dos rectas opuestas, y su área, que expresa la cantidad de magnetismo, disminuye.

Explico estos hechos diciendo que, en el primer caso, los filetes magnéticos disponen de más sitio del que necesitan para extenderse. Cuando las curvas se tocan, tienen justamente el sitio que les es menester, y recíprocamente, el número de los polos elementales de los filetes que pueden recibir las superficies polares es precisamente igual al que puede caber en el perímetro medio. En este caso el iman es perfecto, está lleno; en el anterior, la superficie lo estaba imperfectamente. Ahora, si se reduce todavía la longitud, los filetes más cortos desaparecen, porque sus dos polos se reunen y la cantidad de magnetismo decrece por insuficiencia de sitio para la distribucion de los polos elementales. En el primer caso, el perímetro medio era muy pequeño; en el segundo es sobrado grande; y el caso intermedio ofrece precisamente la superficie polar que conviene á la dilatacion ó extension de los polos.

«Por lo comun la barra se imanta sólo superficialmente; si se imantara por igual en toda su masa hasta su eje, el número de los filetes magnéticos seria proporcional á la superficie de la seccion media. Se llega aproximadamente á esta proporcion dividiendo el acero en láminas tenues que se imantan por separado superponiéndolas en seguida; el número de filetes aumenta entónces proporcionalmente al de láminas, y como las superficies no cambian sino por aumento de espesor, en breve se llenan de magnetismo; las curvas de intensidad se reunen en medio, y el iman queda lleno en todas sus dimensiones, puesto que, por un lado, la seccion media está imantada profundamente, y por otro, las curvas de intensidad llenan las superficies exteriores. Vése tambien porqué los haces magnéticos son superiores á los imanes formados de una sola pieza cuyo espesor fuese igual á la suma de los espesores de las láminas.»

Estas deducciones están basadas en numerosísimos experimentos, y si las consignamos aquí detalladamente, no es tan sólo por el interés que tienen para la teoría del magnetismo, sino tambien porque han inducido á su autor á dar reglas nuevas para la construccion de sus *contactos* y *armaduras*. En el capítulo siguiente volveremos á ocuparnos de ellas; pero ántes

terminaremos este artículo con una cita de Jamin en la que este físico trata de la fuerza coercitiva.

Para él, la definicion habitual de la fuerza coercitiva es vaga y no descansa en ningun experimento definitivo. Discurrida para expresar, bajo el punto de vista magnético, la diferencia entre el hierro y el acero, la dificultad que presenta el metal para la imantacion y la resistencia que opone á las causas de desimantacion, júzgase que dicha fuerza debe servir de explicacion á propiedades que, segun Jamin, «se pueden resumir de una manara tan sencilla como clara, diciendo que el hierro dulce es buen conductor de las tensiones magnéticas y que el acero lo es tanto ménos cuanto mayor dureza tiene. Propongo, pues, dice, desechar la frase fuerza coercitiva sustituyéndola por la palabra conductibilidad, que, grande ó escasa, constituye la propiedad esencial del hierro y del acero y explica todos sus efectos. Por su cualidad de conductor, el hierro adquiere y pierde el magnetismo tan luégo como interviene ó cesa una causa exterior; por la misma razon trasporta á través de un contacto las tensiones opuestas de dos polos y hace que el iman vuelva á neutralizarse; y por igual motivo sirve tambien, cuando se le añaden armaduras cuidadosamente aplicadas, para reunir y trasportar á masas polares inmediatas el magnetismo diseminado por las superficies de los imanes naturales. Por el contrario, á causa de su poca conductibilidad, retiene el acero separadas en los extremos de una barra las tensiones contrarias que son tanto más poderosas cuanto más larga es aquella. Del propio modo se explica la necesidad de las fricciones para la imantacion á fin de actuar en cada punto y suplir la conductibilidad que falta, la imposibilidad de hacer contactos con el acero, y por último la diferencia de tension que subsiste entre este metal y el iman puesto en contacto con él.»

La teoría de los dos flúidos, que acabamos de exponer de un modo elemental en este capítulo, fué concebida ántes del descubrimiento de los hechos que han enlazado definitivamente los fenómenos del Magnetismo con los de la Electricidad. Basta para explicar las principales propiedades de los imanes, sus atracciones y repulsiones mutuas, su accion sobre las sustancias simplemente magnéticas, como el hierro dulce; y tambien para dar cuenta de lo que ocurre cuando se ponen en práctica los procedimientos de imantacion artificial cuya descripcion será objeto del siguiente capítulo; en una palabra, basta para coordinar todos los casos descritos, demostrando que todos ellos pueden derivarse de un mismo principio.

Pero conviene insistir en un punto, á saber, que la teoría de los dos flúidos, de los elementos magnéticos y de la fuerza coercitiva, no es en realidad más que una hipótesis provisional que será preciso modificar y completar para explicar los efectos recíprocos de las corrientes eléctricas y de los imanes. Cuando hayamos descrito estos efectos en los capítulos consagrados al Electro-magnetismo, será la ocasion oportuna de decir qué hipótesis han sugerido.

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTOS DE IMANTACION

I

IMANTACION POR LOS IMANES NATURALES Ó ARTIFICIALES

Las sustancias magnéticas puestas delante de los imanes ó en contacto con ellos, adquieren por influencia las propiedades del magnetismo polar. Ya hemos descrito los experimentos que así lo prueban. ¿En virtud de qué procedimientos se consigue que estas propiedades sean permanentes, siendo así que por lo regular no subsisten sino miéntras dura el contacto ó la presencia del iman? Vamos á decirlo.

En la teoría de los dos flúidos se admite que la separacion de estos exige la accion de una fuerza especial, la *fuerza coercitiva*, que por lo demás, así se opone á su reunion cuando se los ha separado, como á su separacion cuando se hallan en estado neutro. Pero ¿cómo nace ó se desarrolla la fuerza coercitiva? Entre las sustancias magnéticas, es el acero muy templado

el que más dotado está de ella; el acero recocido pierde su fuerza coercitiva (1). El hierro dulce carece de ella ó la tiene en cantidad muy escasa; pero si se cambia su estructura mediante una accion mecánica, como la percusion, la torsion, el temple, la fuerza coercitiva se desarrolla en él, y puede adquirir un magnetismo polar perceptible. Es por tanto probable que esta propiedad dependa más bien de la estructura del cuerpo, de su disposicion molecular, que de su composicion química.

Resulta de aquí que para obtener imanes artificiales se debe emplear con preferencia el acero fuertemente templado. Sometiendo una barra de este metal á la influencia de un iman, el magnetismo que se desarrollará en ella subsistirá indefinidamente; en cambio, y precisamente á causa de la fuerza coercitiva, la imantacion requerirá procedimientos especiales que vamos á describir ahora.

Pongamos la barra de acero que se trata de imantar en contacto por uno de sus extremos con el polo de un iman de gran fuerza. Al punto se desarrolla el magnetismo, naciendo un polo en cada extremo de la barra; el que está en contacto con el iman es de sentido contrario al del polo que toca; el otro es del mismo sentido. Este método, que se puede llamar por

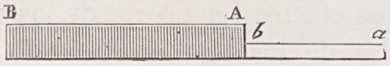


Fig. 23.—Imantacion por simple contacto

simple contacto (fig. 23), está basado, como se ve, en la descomposicion del flúido neutro por la influencia del iman.

El método llamado del *simple tacto* consiste en poner el polo del iman A en contacto con uno de los extremos *a* de la barra de acero (fig. 24), y luégo en hacerle resbalar de un extremo á otro de este. Repítese esta operacion muchas veces, pero siempre con el mismo polo y en el mismo sentido. El extremo por el cual empieza el movimiento de friccion adquiere un polo *a* del mismo nombre que el A del iman que se halla en contacto con la barra de acero.

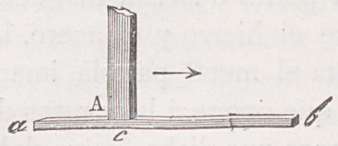


Fig. 24.—Método de imantacion por simple tacto

¿Qué sucede en esta operacion, y cómo se puede explicar el resultado obtenido?

En un punto dado del trayecto, el polo A descompone por influencia, pero en sentido inverso, el flúido neutro de la barra; enfrente del punto de contacto hay un punto consecuente cargado de flúido opuesto al de A; y á una y á otra parte los elementos magnéticos están polarizados en sentido inverso. Mas tan luégo como el iman ha llegado al fin de su carrera, la distribucion es en todas partes la misma; la barra queda imantada de modo que á la izquierda tiene un polo *a* del mismo nombre que A. Una segunda y luégo una tercera friccion repiten el mismo efecto aumentándolo. La imantacion es cada vez más fuerte hasta la saturacion.

Dícese que una barra está *imantada á saturacion* ó *saturada* de magnetismo cuando la cantidad de flúido descompuesto llega al límite que permite la fuerza coercitiva de la barra. Puede suceder que en la operacion se traspase este límite, pero entónces el exceso de potencia magnética obtenida así se pierde poco á poco.

El método del simple tacto es bueno para imantar agujas cortas y poco gruesas; pero á menudo es irregular y produce puntos consecuentes. A mediados del siglo pasado no se conocia otro. Varios físicos como Knight, Mitchell, Duhamel y Æpinus lo reemplazaron por el *doble contacto*, que consiste en emplear simultáneamente dos imanes para obtener la imantacion de la barra de acero.

El procedimiento de Mitchell consistia en aproximar dos imanes por sus polos contrarios, separándolos únicamente con una piececita de madera, y pasándolos despues por la barra que se debia imantar. Poniendo muchas barras de

(1) Si se aceptan las deducciones de M. Jamin, expuestas al final del capítulo anterior, se debe reemplazar siempre la expresion *fuerza coercitiva* por la de *conductibilidad magnética*. Por ejemplo, el hierro dulce, que no tiene fuerza coercitiva, está en cambio dotado de gran conductibilidad; el acero templado, que es el metal de fuerza coercitiva más enérgica, es poco ó nada conductor del flúido magnético. Cualquiera que sea la frase que se adopte, no se deberá ver en una ù otra expresion otra cosa sino un modo de representarse los hechos. Toda la ventaja de la sustitucion propuesta por Jamin consiste en que de este modo aparecen más relacionados los efectos magnéticos con los eléctricos, con los cuales tienen aquellos la mayor analogía, segun veremos más adelante.

acero unas tras otras, las intermedias son las que quedan más fuertemente imantadas.

En el procedimiento de Duhamel, que se llama tambien del *doble contacto separado*, la barra M N que se ha de imantar se coloca sobre los polos contrarios de dos imanes poderosos, A' B'. (1) En seguida se ponen en medio

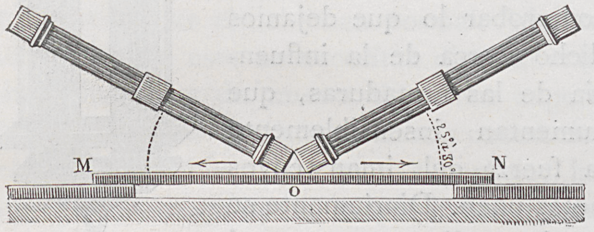


Fig. 25.—Imantacion por el método del doble contacto separado. Procedimiento de Duhamel.

de la barra otros dos imanes A, B, inclinados de 25 á 30 grados, de modo que sus dos polos contrarios estén de frente, y cuidando de que cada uno de ellos esté del lado del polo del mismo nombre, perteneciente á los imanes fijos A' B'. Si entónces se hace correr muchas veces los imanes movibles, en sentido opuesto, pero sin cambiar su inclinacion, se desarrolla el magnetismo polar en la barra de acero que adquiere dos polos M, N, de nombres contrarios á los polos B, B', A, A' de los imanes empleados. El procedimiento de Duhamel da la imantacion más completa y regular, así es que se le emplea con preferencia para imantar las agujas de las brújulas y las láminas cuyo grueso no llega á 5 milímetros.

El método de Æpinus difiere del de Duhamel en que los imanes movibles están unidos entre sí como los de Mitchell, pero inclinados sobre la superficie de la barra que se imanta. La experiencia ha demostrado que se obtiene el máximum de efecto cuando el ángulo de inclinacion de los imanes está comprendido entre 15° y 20°. El procedimiento de Æpinus es el más enérgico de los que acabamos de describir, pero tiene el inconveniente de producir una imantacion irregular, sucediendo con frecuencia que, además de los polos principales, el iman obtenido tiene polos secundarios ó puntos consecuentes.

Tales eran los procedimientos conocidos para obtener imanes artificiales, ántes de relacionar los fenómenos del magnetismo con los de la electricidad dinámica. Hoy se recurre casi siempre á las corrientes eléctricas que circulan por carretes de alambre de cobre para producir la imantacion permanente de una barra, siendo el procedimiento de Elías de Harlem el más usado. Lo describiremos más adelante, cuando hayamos expuesto los hechos de electro-magnetismo en que está basado.

II

CONSTRUCCION DE IMANES.—HACES MAGNÉTICOS.—ARMADURAS

La potencia de los imanes no está en proporcion con su tamaño ó con su peso; los más pequeños tienen relativamente mayor fuerza. Pero si se reunen muchas barras imantadas poniendo de frente los polos del mismo nombre se obtiene un iman de fuerza superior ó por lo ménos igual á la suma de las energías individuales de los imanes componentes. Esta reunion lleva el nombre de *haz magnético;* discurriólo Knight, y Coulomb y Scoresby estudiaron las condiciones de la construccion de estos haces, condiciones que Jamin ha completado acertadamente, gracias á sus indagaciones sobre la distribucion magnética.

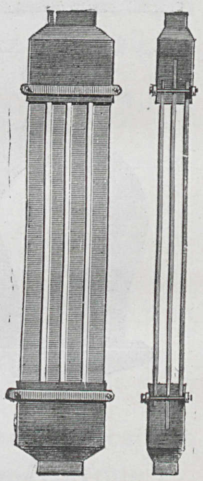


Fig. 26.—Haz magnético compuesto de doce barras imantadas

Coulomb habia demostrado que las láminas de que se compone un haz magnético ejercen cierta reaccion unas sobre otras, resultando de aquí una alteracion en el estado magnético de las láminas interiores, y que la energía total no es proporcional á su número; pero Nobili ha ideado el medio de atenuar este inconveniente dando á las barras diferentes longitudes, de suerte que sus extremos están colocados á modo de gradas ó escalones. Por último, Scoresby reconoció que era ventajoso separar las láminas entre sí.

En la figura 26 se ve cómo se colocan las láminas de un haz magnético construido segun los datos experimentales que acabamos de exponer sucintamente. En la Sociedad Real de

(1) En vez de dos imanes, Duhamel ponia al principio bajo la barra que habia de imantar dos barras de hierro dulce.

Lóndres hay un iman construido por Knight que sostiene 50 kilógramos, y que consta de 450 placas de 40 centímetros de longitud. En un principio, este iman era más poderoso, pero parece que lo ha alterado el calor que hubo de experimentar accidentalmente á consecuencia de un incendio.

Examinando la figura 26, se ve que las láminas del haz tienen sus extremos metidos en dos masas de hierro dulce. Estas masas son las *armaduras* del iman, cuya mision es muy importante. La accion de los polos en cada armadura desarrolla en ella por influencia un magnetismo contrario á la vez que forma en cada extremo un polo del mismo nombre. Por un efecto de reaccion, el magnetismo del hierro dulce propende á excitar en el iman una nueva descomposicion de flúido neutro. La experiencia demuestra que las armaduras dan en realidad al iman un magnetismo más intenso, que va creciendo hasta llegar á cierto límite.

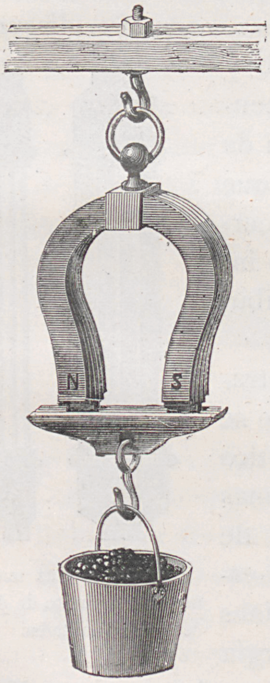


Fig. 27.—Iman de herradura con su armadura y su carga

Basándose Knight en esta propiedad de las armaduras, la aprovechaba para conservar á sus imanes su fuerza magnética. Los ponia por pares en una caja, colocándolos á cierta distancia uno de otro; los polos contrarios frente á frente, se apoyaban por cada lado en un pedazo prismático de hierro dulce que adquiria por influencia dos polos opuestos cuya accion bastaba para impedir la recomposicion de los dos flúidos en los imanes.

Por lo regular se hace uso de haces magnéticos encorvados de modo que una misma armadura pueda reunir sus polos opuestos. Tales son los imanes llamados *de herradura* (fig. 27). Tambien se pueden unir dos haces prismáticos poniéndolos paralelamente, de modo que los polos de nombre contrario A, B, (fig. 28) toquen una pieza de hierro dulce sostenida á cada lado por una varilla de cobre. Otra pieza de hierro dulce provista de un gancho y que sirve de armadura y de soporte, une los otros dos polos, como en los imanes de herradura.

La armadura sirve en estos imanes para medir la fuerza de sostén de ambos polos unidos. Se cuelga de ella un peso, el platillo de una balanza, y de este modo se puede comprobar lo que dejamos dicho acerca de la influencia de las armaduras, que aumentan insensiblemente la fuerza del iman cuyos polos unen. Diariamente se puede añadir nuevo peso al que el iman sostenia la víspera; sólo que, tan luégo como se traspasa el límite, se desprende la armadura y el iman recobra su fuerza magnética primitiva, si estaba saturado; en el caso contrario, conserva solamente una parte del magnetismo que habia adquirido.

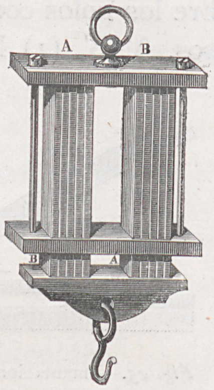


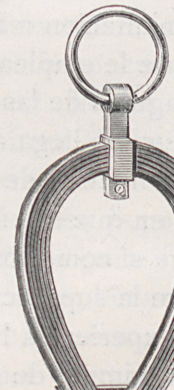
Fig. 28.—Iman formado de dos haces magnéticos

III

IMANES JAMIN. — FUERZA DE SOSTÉN DE LOS IMANES

En el capítulo anterior hemos hecho una sucinta reseña de las investigaciones de M. Jamin sobre la distribucion del magnetismo en los imanes, y hemos dicho que este físico habia deducido de ellas nuevas reglas para su construccion. Entremos en algunos detalles acerca de este punto, ó indiquemos los principales resultados obtenidos.

Habiendo reconocido M. Jamin que la fuerza de una lámina aumenta con su espesor, conforme lo hemos dicho ya, aunque no tan rápidamente como el espesor mismo, ha elegido para formar sus haces de placas tenues, láminas ó tiras de acero. Sobreponiendo estas láminas en suficiente número, se llega á construir imanes normales y á alcanzar el límite de potencia disminuyendo al propio tiempo considerablemente el peso total. Así es como M. Ja-


Fig. 29.—Iman Jamin de herradura

min ha formado imanes que soportaban veinte veces su propio peso.

Ha estudiado además con cuidado el cometido é influencia de las armaduras. Supongamos que se imanta por separado y á saturacion cierto número de láminas, y que sobreponiéndolas se forma un haz con ellas. Se verá que el magnetismo de este haz va creciendo hasta un límite que es el del iman normal. Admitamos que para esto se necesitan diez láminas. Ahora hagamos de nuevo el mismo experimento aplicando las mismas láminas contra dos armaduras de hierro de gran superficie; las intensidades crecerán con mayor lentitud; mas para llegar al límite habrá que sobreponer mayor número de láminas, por ejemplo, veinte, treinta, cuarenta, segun las armaduras. M. Jamin hace mencion de un haz compuesto de tres láminas, cuya fuerza de sostén límite era de 4 kilógramos cuando no tenia armaduras. Las mismas láminas aplicadas á dos armaduras de 350 centímetros cuadrados llegaban á tener una fuerza de sostén de 140 kilógramos. Pero es esencial que, en lugar de imantar el acero solo y armarlo en seguida, no se proceda á la imantacion hasta haber reunido el conjunto del iman y de sus armaduras.

Hé aquí las condiciones que, segun Jamin, deben mediar para la construccion del mejor iman que pueda hacerse con láminas de un acero y de una longitud dadas.

1.ª El portapesos deberá disipar la totalidad del magnetismo difundido por la superficie exterior del iman, para lo cual será menester darle suficiente masa;

2.ª Dada esta masa será preciso reducir la superficie de adherencia hasta el momento en que se vea aumentar el poco magnetismo libre que la aplicacion del portapeso deja al iman;

3.ª Determinadas ya la longitud y anchura de las láminas, es menester que sean bastantes en número para que hagan aparecer un poco de magnetismo libre en el iman cuando se ha puesto el porta-peso; si dicho número es menor, no se llega al límite de fuerza permanente; si mayor, no se gana ya nada;

4.ª Las armaduras deben ser fuertes, estar bien aplicadas y muy juntas; conviene, sin embargo, no exagerar el peso.

M. Jamin presentó á la Academia de ciencias un iman construido con estas condiciones, y descrito por su autor del modo siguiente: «Consiste en dos armaduras de 16 kilógramos de peso cada una, puestas frente á frente, y fijadas solidariamente por medio de bridas de cobre muy resistentes; su anchura es de 11 centímetros; sus superficies polares horizontales y dirigidas hácia abajo están á 12 centímetros de distancia; su grueso trasversal es de 20 milímetros; son perfectamente rectas y soportan un porta-peso cúbico de hierro dulce que pesa 13 kilógramos. A partir de estas superficies las armaduras se elevan, separándose una de otra y adelgazándose, y rematan en un borde afilado.

»Están reunidas en su parte superior por una placa de acero de 1m,20 sujeta con tornillos á su superficie exterior, y encorvada libremente siguiendo la forma determinada por su elasticidad. Las demás láminas ó placas, préviamente imantadas, están dentro de esta, una tras otra; abandonadas á sí mismas, se adhieren mutuamente miéntras que sus extremos se apoyan en las armaduras: á medida que su número aumenta, la fuerza de sostén crece como sigue:

n Número de láminas	F Fuerza de sostén despues del primer arranque Kilógr.	F_1 Fuerza de sostén permanente Kilógr.	$F-F_1$ Diferencia
20	175	154	21
30	316	280	46
40	460	376	84
45	558	460	98
50	600	475	125
55	680	498	185

»La fuerza de sostén F que se mide despues del primer arranque es siempre mayor que F_1, que es la fuerza permanente; la diferencia va creciendo, al principio no muy rápidamente hasta las 40 ó 45 láminas. En este momento se ve aparecer una cantidad notable de magnetismo libre en los extremos del iman y del porta-peso. De 40 á 55, la fuerza F va aumentando, segun lo hemos explicado, pero F^1 subsiste casi constante y llega casi al límite de 500 kilógramos, límite que no se puede traspasar dadas las condiciones de las armaduras, del porta-peso y del acero que se han fijado: no pasando de 45 láminas, el peso total es de 46 kilógramos y se ve que el iman sostiene 400 kilógramos ó sea 16 veces su peso; pero

la cualidad relativa del aparato disminuye rápidamente si se pone mayor número de láminas, por cuanto su peso aumenta más de prisa que su potencia.»

La experiencia y la teoría concuerdan para demostrar que se necesita dar á los contactos ó porta-pesos de un iman mucho perímetro y poca longitud, pues la superficie de adherencia no debe pasar de cierto límite.

Por último, la calidad de los aceros tiene asimismo gran importancia por lo que respecta á su potencia magnética ó al límite de la imantacion normal que, segun hemos visto, depende tambien de la longitud de las láminas. La experiencia demuestra que los aceros recocidos y cortos adquieren solamente una imantacion superficial, al paso que los templados y largos se imantan casi uniformemente en todo su espesor. Asimismo se pueden adoptar los aceros templados muy carburados, que son difíciles de imantar, pero muy permeables á la imantacion, con preferencia á los aceros recocidos y poco carburados, que se imantan mucho en la superficie y son poco permeables en el sentido de la profundidad.

Para terminar este incompleto resúmen de los estudios de M. Jamin, representamos en la figura 29 un iman construido por él con arreglo á las indicaciones de la teoría y de la experiencia. Este iman tiene la forma ordinaria de herradura. Las láminas de acero de que se compone el haz están muy encorvadas y sus polos muy inmediatos; las armaduras de hierro dulce separadas por una pieza de laton están fuertemente atornilladas entre sí y con las láminas.

IV

IMANTACION POR LA ACCION DE LA TIERRA

Todos los métodos de imantacion que acabamos de describir están basados en la accion que ejerce un iman ó una barra imantada más ó menos enérgica sobre láminas de sustancias magnéticas dotadas de fuerza coercitiva; cuanto mayor es esta, más debe serlo la accion del iman; más repetida y prolongada debe ser para producir en el cuerpo que se ha de imantar un magnetismo polar intenso á la par que duradero.

Nadie ignora que la Tierra es un iman, ó lo que es lo mismo que obra como tal; por consiguiente, debe ser posible servirse de ella para imantar artificialmente las sustancias magnéticas. Como sus polos están muy distantes y por tanto su influencia es débil, no puede producirse esta imantacion sino en sustancias dotadas de escasa fuerza coercitiva. Así sucede en efecto, y la experiencia prueba que la accion de la Tierra puede bastar para comunicar el magnetismo polar á masas de hierro dulce y áun á barras de acero sin templar.

Si se pone una barra de hierro en la direccion de la aguja de inclinacion ó simplemente en el plano del meridiano magnético (si es vertical, forzosamente se ha de cumplir la segunda condicion), se podrá ver entónces que adquiere un polo austral en la parte inferior y uno boreal en la superior. Así se comprueba acercando una aguja imantada á un extremo de la barra y luégo al otro; el polo austral de la aguja será atraido por la extremidad superior y repelido por la inferior (1).

Esta imantacion cesa tan luégo como se quita la barra del meridiano magnético; pero si miéntras está vertical se dan algunos martillazos en uno de sus extremos, su magnetismo adquiere el carácter de permanente. Lo propio acontece siempre que al hierro dulce imantado así por la Tierra se le hace pasar por cualquiera de las operaciones á propósito para desarrollar su virtud coercitiva, como la torsion, la accion de la lima, la oxidacion, etc. Así se explica el conocido caso que ocurre en los talleres en que se labra el hierro, esto es, que se imantan muchas herramientas. Si se retuercen algunos pedazos de alambre de hierro de igual longitud, manteniéndolos en posicion vertical, cada uno de ellos se convierte en un iman; reuniéndolos todos en un haz por sus polos del mismo nombre, se pueden obtener imanes bastante poderosos. Gay-Lussac fué quien hizo esta última observacion.

Las barras de hierro que están mucho tiempo al aire libre en posicion vertical se convierten en verdaderos imanes. Las palas, las tena-

(1) Hay que cerciorarse de que la barra no estaba préviamente imantada, volviéndola de arriba abajo sin que deje de continuar vertical, porque entónces el polo inferior repele tambien el austral de la aguja imantada.

zas de chimenea, las fallebas de los balcones y ventanas se hallan en este caso. La oxidacion es la que produce esta imantacion ó mejor dicho la que la hace permanente. Atribúyese á un cirujano de Rímini, llamado Julio César, la primera observacion sobre este hecho, la cual data de 1590. Las cruces que rematan los campanarios de las iglesias se hallan en condiciones excelentes para adquirir las propiedades del iman. Gassendi observó en 1630 que la cruz de la iglesia de San Juan de Aix, cuyo pié se habia oxidado enteramente y cuya vetustez ocasionó su caida, estaba perfectamente imantada. La *Enciclopedia* de D'Alembert y Diderot hace mencion de las cruces de los campanarios de Delft, Chartres, Marsella, etc., diciendo que habian llegado á ser imanes perfectos.

En breve tendremos ocasion de hablar de la imantacion obtenida por medio de las corrientes eléctricas, y aquí sólo diremos que hace mucho tiempo se sabe que el rayo puede comunicar al hierro la virtud magnética. En el artículo *Iman* de la *Enciclopedia* se lee lo siguiente:

«Cierto dia cayó un rayo en una habitacion en la cual habia un cajon con cuchillos y tenedores que se habia de embarcar; la chispa eléctrica entró por el ángulo meridional de la estancia, precisamente donde estaba el cajon, y rompió y fundió muchos tenedores y cuchillos; los que quedaron enteros, se imantaron con tal fuerza que se pudo levantar con ellos grandes clavos y argollas de hierro, habiendo adquirido esta virtud magnética hasta tal punto que ni áun calentándolos al rojo se la pudo disipar.»

CAPÍTULO IV

EL MAGNETISMO TERRESTRE

I

PRIMERAS IDEAS SOBRE LOS FENÓMENOS DE MAGNETISMO TERRESTRE

Hemos visto que los antiguos apénas conocian otra cosa del iman sino sus propiedades atractivas, y que sobre todo ignoraban completamente la accion directriz de la Tierra, ó lo que es lo mismo, la orientacion fija que toma un iman libre. Las primeras nociones acerca del asunto, al ménos para el mundo occidental, se remontan á la invencion, ó más bien á la importacion de la brújula, largo tiempo hacia usada en Oriente.

Los chinos se valian, desde la más apartada antigüedad, (1), de lo que ellos llamaban carros *indicadores del sur (tchi nan)* para guiarse en sus viajes terrestres ó marítimos. La parte anterior de estos carros magnéticos estaba formada de una aguja que flotaba libremente en el agua y hacia mover los brazos de una figurita que señalaba el sur. La brújula, así como otras muchas invenciones del mismo orígen, pasó luengos siglos ignorada de los pueblos de occidente, porque está probado que ni los griegos, ni los romanos, ni los navegantes fenicios y etruscos hicieron uso de ella. Seguramente fueron los árabes de los siglos XI y XII los que la introdujeron poco á poco en los mares de Europa, conservando en un principio su forma primitiva de aguja flotando en el agua. La brújula suspendida sobre un eje no empezó á usarse hasta la primera mitad del siglo XIV.

Por lo que hace á la declinacion, tambien fueron los chinos los que hicieron la primera mencion de ella. A decir verdad, el ángulo formado por la aguja con el meridiano era muy pequeño en los países del extremo Oriente y así ha subsistido sin variaciones apreciables por espacio de siglos enteros, de lo cual proce-

(1) Eduardo Biot hace mencion de dos tradiciones consignadas en sus escritos por antiguos autores chinos de los siglos IV y XII de nuestra era. La primera de ellas hace remontar la invencion y el uso de los carros indicadores del sur al emperador Hoang-ti, que segun el cómputo floreció hácia el siglo XXVII ántes de Jesucristo. La segunda tradicion atribuye el invento al príncipe Tcheu-Kong, que vivió en el siglo XI ántes de la era cristiana. Así pues, y segun observa Humboldt, la propiedad que posee la aguja imantada de marcar el norte y el sur se utilizaba ya en una época anterior tal vez á la invasion dórica y al regreso de los Heraclidas al Peloponeso.

de el nombre de carros indicadores del sur. Por esto era muy difícil comprobar la existencia de dicho ángulo con aparatos tan movibles. Con todo, un pasaje de un autor chino, citado por Biot, prueba claramente que se descubrió la declinacion todo lo más tarde á fines del siglo XI, resultando además de dicho pasaje que los antiguos chinos imantaban tambien sus agujas por friccion.

«Los que hacen juegos de manos, dice, frotan la aguja con una piedra iman; entónces puede marcar el sur; sin embargo, declina constantemente al este y no puede marcar el sur con toda exactitud. Cuando esta aguja flota en el agua, se mueve mucho; si se toca con la punta de los dedos el borde de la vasija en que flota, se mueve todavía más; sólo que continúa deslizándose y cae fácilmente. Es mejor suspenderla para que manifieste su virtud todo lo posible. Hé aquí cómo: se saca un solo hilo del medio de una madeja nueva de algodon, y con un poco de cera del tamaño de un grano de mostaza, se le adhiere exactamente á la mitad de la aguja, y así se la suspende en un sitio donde no haga viento; entónces la aguja señala constantemente el mediodía. Hay agujas de estas que marcan el sur cuando se las frota; nuestros jugadores de manos tienen unas que marcan el norte y otras que marcan el sur (1).»

Vese tambien por esto que los antiguos chinos se habian anticipado á Gilbert y á Coulomb en el modo de suspension de la aguja por su centro de gravedad; sólo que segun parece no sacaron provecho alguno de esta circunstancia.

Segun lo que más arriba dejamos dicho, la introduccion de la brújula en la navegacion europea apénas precedió en dos ó tres siglos á las grandes expediciones, á los grandes viajes terrestres y marítimos, cuya consecuencia fué el ensanchamiento considerable del mundo antiguo y el descubrimiento de uno nuevo. Esta introduccion debió favorecer singularmente la exploracion del globo, pudiéndose tambien decir que ha sido el punto de partida de los descubrimientos científicos cuyo conjunto constituye hoy una rama importante de la ciencia de la física del globo, la que estudia los fenómenos del magnetismo terrestre. Débense sin duda á Gilbert las primeras nociones que asimilan la Tierra á un gigantesco iman con sus polos y su línea neutra; pero Cristóbal Colon descubrió, mucho ántes que él, el hecho importante de la declinacion magnética y observó las variaciones que sufre cuando se trasporta la aguja imantada de un lugar á otro. El gran navegante reconoció tambien que al este de una de las islas Azores habia una línea sin declinacion magnética. Fuéronse compilando poco á poco todos los hechos de este género y otros muchos, y bajo la influencia fecunda del método de observacion experimental, muy en breve se los pudo sistematizar y coordinar en leyes. Las conjeturas vagas y las ideas místicas de los primeros observadores de los fenómenos magnéticos cedieron tambien el puesto á teorías, que áun sin ser verdades demostradas, no dejan de tener el carácter de hipótesis científicas.

II

LA DECLINACION MAGNÉTICA

La influencia que la invencion de la brújula tuvo en la extension de la navegacion de altura, y por tanto, en los descubrimientos geográficos, ha sido inmensa: es un hecho que no necesita demostracion. Mas, desde el punto de vista científico, su utilidad no habrá sido menor, y ahora veremos cómo, merced á este instrumento convenientemente perfeccionado, se han podido adquirir preciosos datos sobre el estado magnético del globo terráqueo.

Tres elementos principales se ofrecen á la observacion en cada lugar: la declinacion, la inclinacion y la intensidad magnética. Hemos definido ya los dos primeros: nos ocuparemos del tercero cuando se trate de medirlo. El problema que se habia de resolver era sumamente complejo. Era preciso reunir y coordinar los resultados de un crecido número de observaciones simultáneas hechas en todos los puntos del globo, para poder caracterizar la distribucion del magnetismo en la superficie de la Tierra, en la época misma en que se recogian estos datos. Importaba por otra parte prolongar todo lo posible en cada lugar esta clase de observaciones hechas con los mismos instrumentos ó

(1) Esta curiosa distincion entre *las agujas que marcan el sur* y *las que marcan el norte* procede sin duda de la ignorancia en que estaqan los chinos de la existencia de los dos polos contrarios del iman, y buizás tambien del modo cómo imantaban por friccion.

con otros comparables, para comprobar los cambios que sobrevenian en los elementos magnéticos de dicho lugar y estudiar las leyes de estas variaciones con el tiempo. Gracias al concurso de los sabios, de los viajeros y de los marinos de todos los países, se han enviado misiones científicas con tal objeto á todas las partes del mundo, y los datos de este problema son ya bastante numerosos para que se haya podido bosquejar la solucion en sus grandes líneas, representar en su conjunto la distribucion del magnetismo terrestre y tomar nota de sus variaciones más importantes.

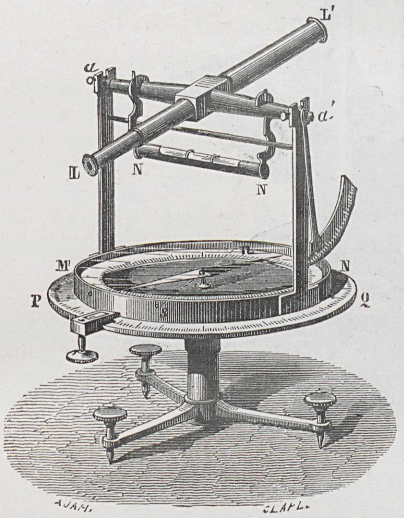


Fig. 30.—Brújula de declinacion

Veamos ante todo cómo se miden los tres elementos de la declinacion, inclinacion é intensidad.

Empezaremos por describir la brújula de declinacion.

Cuando se trata de una determinacion científica que requiera gran precision, se construye la brújula de declinacion como lo indica la figura 30. La aguja imantada suspendida sobre un eje vertical de ágata va encerrada en una caja cilíndrica M N de la cual parten dos montantes metálicos que sostienen un anteojo L L' con hilos reticulares en su foco y que puede girar sobre sí mismo alrededor de un eje *a a'* paralelo al plano del limbo. Todo este sistema puede girar tambien horizontalmente sobre el plano de otro círculo dividido P Q.

Para medir la declinacion, se pone la brújula sobre un plano casi horizontal y se observa el nivel de aire N N para cerciorarse de la perfecta horizontalidad de los limbos M N y P Q. Hecho esto, se pone el anteojo en direccion de una estrella conocida, y segun la hora de la observacion, se puede calcular el ángulo que forma el plano vertical de la estrella, que es el del anteojo, con la línea meridiana, ó sea su azimut. De este modo queda fijada la direccion de la meridiana sobre el limbo P Q; se da vuelta á la caja M N sobre el círculo P Q en una cantidad igual á este ángulo; la línea de mira *n s* ó 0°-180° está entónces en el meridiano, y ya sólo resta leer en el limbo M el ángulo que forma con ella la direccion de la aguja imantada. Este ángulo es la declinacion magnética del lugar en el momento de la observacion.

Se emplea el mismo método cuando, para medir la declinacion, se hace uso de la brújula de Gambey (fig. 31); sólo que con este instrumento se puede obtener el elemento en cuestion con mayor exactitud. La aguja de este aparato es una barra imantada A B cuyos extremos llevan dos anillos de hilos cruzados que sirven de miras. Esta barra está suspendida de un eje movible por medio de un haz *f* de hebras de seda sin torcer. El marco que sostiene el eje lleva al propio tiempo un anteojo L, que desempeña el mismo papel que el de la brújula descrita anteriormente. El marco que lo soporta, y que soporta tambien el hilo de suspension y la barra, puede girar sobre el plano de un limbo con divisiones C C, provisto de verniers con los cuales se leen las divisiones que corresponden, ya á la posicion del anteojo y por consiguiente á la del plano vertical de la aguja observada, ya á la del plano vertical que contiene el eje de la barra imantada. Para evitar la influencia de las agitaciones del aire, la hebra de seda está metida en una caja de cristal, y en otra caja M M la barra, cuyos extremos se observan entónces por las aberturas O O.

La observacion de la declinacion absoluta con un instrumento tan complicado como el que acabamos de describir es una operacion delicada y bastante larga; de suerte que miéntras dura, la aguja puede experimentar cambios apreciables en su direccion, y por consiguiente el resultado que se obtiene no es más que un término medio de los valores verdaderos de la declinacion en dicho intervalo. En los observatorios meteorológicos, rara vez se observa la

declinacion absoluta, al paso que se estudian y anotan con regularidad las variaciones que sufre de un dia para otro; entónces se emplea un aparato construido con este objeto especial y que ha recibido el nombre de *brújula de variaciones.*

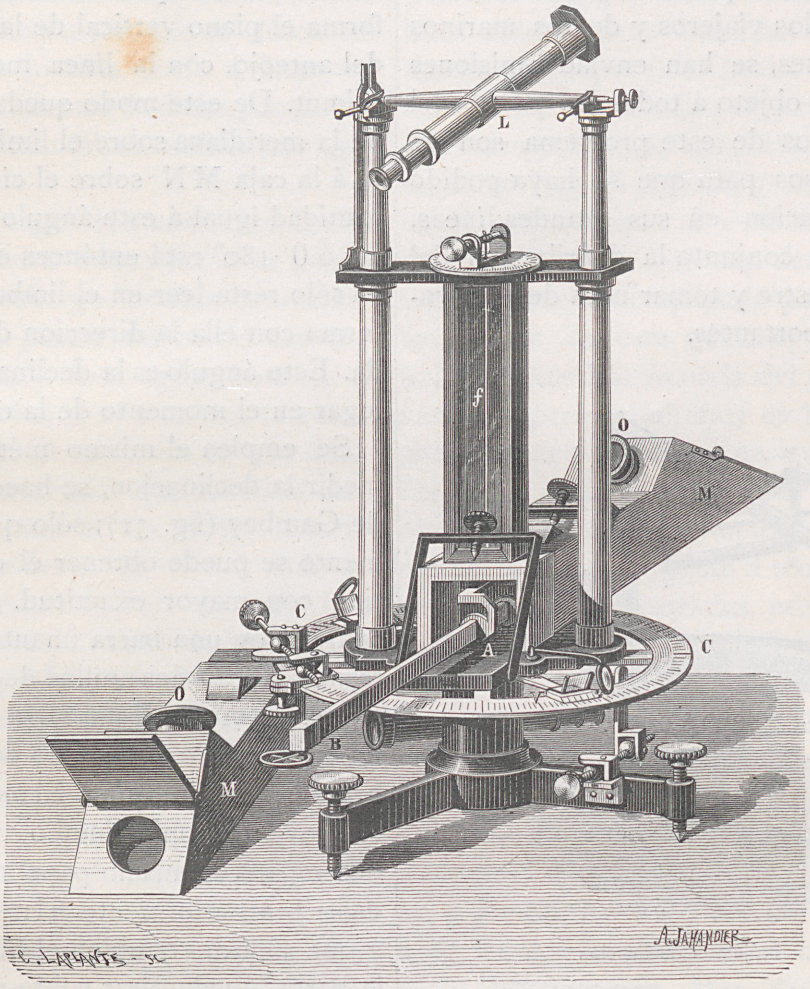


Fig. 31.—Brújula de declinacion de Gambey

III

INCLINACION É INTENSIDAD MAGNÉTICAS

Cuando una aguja imantada está suspendida por su centro de gravedad de modo que pueda moverse en todos sentidos alrededor de este punto, se sitúa, segun sabemos, en el meridiano magnético, y en este plano forma con el horizonte un ángulo constante que es la *inclinacion magnética* del lugar en el instante de la observacion. Si la aguja está dispuesta, como se acostumbra, de modo que pueda girar libremente alrededor de un eje horizontal que pase por su centro de gravedad, toma por lo regular una posicion inclinada al horizonte, pero que varía con el azimut del plano vertical que contiene la aguja. El ángulo que forma así con la horizontal es *mínimum* cuando aquella está en el plano del meridiano magnético; va creciendo á medida que se desvía de este plano, y llega á 90° cuando el plano en que se halla forma un ángulo recto con dicho meridiano; en otros términos la aguja está entónces vertical. El primero de estos ángulos es la inclinacion magnética del lugar en que se hace la observacion.

Para medir la inclinacion se usan instrumentos especiales que vamos á describir y que llevan el nombre de *brújulas de inclinacion.* La fig. 33 representa una de ellas.

Se compone de un círculo metálico, graduado y vertical, que lleva en su centro la aguja imantada, movible alrededor de un eje horizontal perfectamente cilíndrico el cual pasa por el centro de gravedad de la aguja. Este eje gira sobre el filo de dos plaquitas de ágata paralelas sostenidas en un bastidor horizontal puesto en la direccion del diámetro del círculo gradua-

do. Todo este conjunto, sostenido por dos columnas, puede dar vueltas alrededor de un eje vertical que forma el pié de la brújula. Con un segundo círculo horizontal y fijo se puede medir el ángulo azimutal del primero, es decir, del plano vertical que contiene la aguja de la brújula. Un nivel situado debajo del limbo y tres tornillos de nivel sirven para colocar horizontalmente el círculo fijo y por consiguiente cerciorarse de la verticalidad del plano de la aguja.

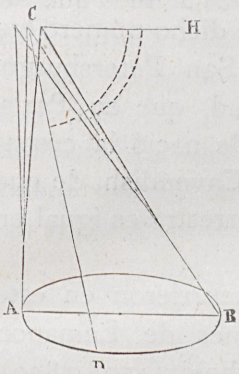


Fig. 32. — Angulos máximum y mínimum de la aguja imantada con el horizonte; H C B, ángulo mínimum en el meridiano magnético; H C A, ángulo máximum perpendicularmente á este meridiano

Cuando se han llenado estas condiciones, se empieza por determinar la posicion del meridiano magnético, lo cual se puede hacer de dos modos: ó buscando la posicion en la cual la aguja forma un ángulo mínimum con la horizontal, en cuyo caso se halla precisamente en el meridiano; ó buscando aquella en que la aguja quede vertical, posicion que toma al hallarse en un plano perpendicular al meridiano magnético, bastando hacerla girar 90° para conducirla al meridiano mismo. Obtenida esta posicion, se conocerá la inclinacion viendo el número de grados que hay en el limbo vertical entre su 0° y una ú otra de las dos puntas de la aguja imantada.

Como puede suceder que la imantacion de la aguja no sea perfectamente regular y que los polos no estén en el eje de figura, se comprueban nuevamente los grados por el método de inversion, es decir, volviendo la aguja de suerte que la arista inferior ocupe el sitio de la superior: el promedio de los dos números de grados da la inclinacion, rectificada de esta causa de error. Otra hay tambien que puede proceder de la falta de coincidencia del eje de rotacion con el centro de gravedad de la aguja. En este caso, la accion de la gravedad altera el ángulo de inclinacion. Corrígese el error que resulta de esta alteracion quitando la aguja, é imantándola en sentido contrario de suerte que sus polos cambien de sitio. Se mide de nuevo la inclinacion con la aguja así modificada, mediante otras dos lecturas de grados. El promedio de las cuatro lecturas ú observaciones da entónces la inclinacion verdadera, en la época y lugar en que se han efectuado.

Cuando se quieren observar las variaciones de la inclinacion á distintas horas del período diurno, se usan instrumentos especiales que reciben en este caso el nombre de *brújulas de variaciones en inclinacion.*

La observacion que hemos hecho acerca de lo largo de las operaciones que exige la medicion de la declinacion absoluta, es aplicable tambien á la de la inclinacion absoluta. Así es que, en las observaciones magnéticas, sólo de vez en cuando se efectúan estas mediciones. En cambio, las observaciones cotidianas se consagran con regularidad á medir las variaciones de estos elementos, lo cual se hace más fácil y rápidamente con brújulas de variacion.

Hay otro elemento cuya determinacion es de gran importancia para el estudio del magnetismo terrestre: la *intensidad* de la fuerza que actúa sobre la aguja imantada, es decir, de la resultante total de las acciones magnéticas ejercidas en ella por la Tierra. La declinacion

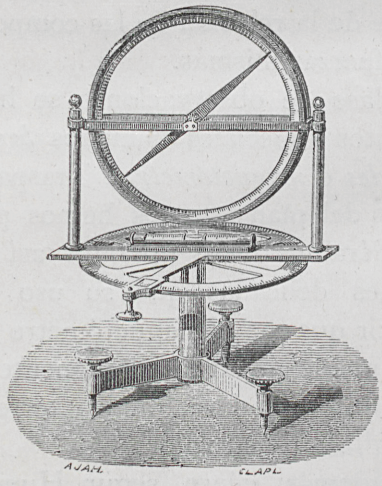


Fig. 33.—Brújula de inclinacion

y la inclinacion indican la direccion de la accion magnética del par terrestre, pero no nos ilustran sobre las variaciones que experimenta la fuerza misma, segun los lugares y las épocas de observacion.

El método empleado para medir la intensidad magnética se basa en la asimilacion de las oscilaciones de una aguja imantada, que se separa infinitamente poco de su posicion de equilibrio, con las oscilaciones de un péndulo.

La observacion prueba en efecto que estas oscilaciones son isócronas, y por tanto las fuerzas magnéticas que las producen están en razon inversa de los cuadrados de sus duraciones, ó lo que es lo mismo, son proporcionales á los cuadrados de los números de oscilaciones que la misma aguja imantada efectúa en un tiempo dado.

Supongamos pues que se toma una aguja imantada, que se la hace oscilar alrededor de su posicion de equilibrio, y que se la trasporta á otro lugar, contando en cada caso el número de oscilaciones que efectúa en un tiempo dado.

Las intensidades magnéticas de ambas estaciones serán entre sí como los cuadrados de dichos números. Para esto se hace uso indistintamente de la aguja de inclinacion ó de la de declinacion. Si se emplea la primera, se cuidará de hacerla oscilar en el meridiano magnético; si la segunda, se deberá tener en cuenta que no está situada, como la aguja de inclinacion, en la direccion misma de la fuerza magnética terrestre, y por consiguiente, que sus oscilaciones dimanan solamente de la accion de la componente horizontal de esta fuerza; mas, en virtud de una sencilla fórmula, se pasa fácilmente de la relacion de las componentes á la de las fuerzas mismas.

Esta clase de observaciones se hacen con instrumentos especiales llamados *brújulas de intensidades* ó *magnetómetros*. Traspasaríamos los límites del plan que nos hemos propuesto si describiéramos estos aparatos así como las operaciones delicadas que su uso requiere. Baste decir que con el magnetómetro bifilar de Gauss se puede medir la componente horizontal de la intensidad magnética terrestre con menos de $^1/_{20000}$ de su valor.

Por lo demás, véase, segun Humboldt, la historia de las primeras determinaciones científicas de este elemento del magnetismo del globo. «Las oscilaciones, dice, cuya duracion da la medida de la intensidad magnética, han llegado á ser por vez primera á fines del siglo XVIII objeto de experimentacion, y hasta la primera mitad del XIX no se hicieron indagaciones formales y perseverantes acerca de ellas. En 1723 Graham midió las oscilaciones de su aguja de inclinacion para cerciorarse de si eran constantes y averiguar la relacion entre la fuerza que las produce y la gravedad. La primera tentativa para valuar la intensidad del magnetismo en puntos de la superficie terrestre muy distantes entre sí, segun el número de oscilaciones efectuadas en un tiempo dado, la hizo Mallet en 1769, y con aparatos bastante imperfectos vió que dicho número era exactamente el mismo en San Petersburgo, situado á los 59°56′ de latitud, que en Paris, situado á los 48°50′; de donde nació la creencia, que ha subsistido hasta Cavendish, de que la intensidad de la fuerza terrestre es igual en todas las zonas.»

Lemonnier y Borda no incurrieron en este error, que las observaciones de Lamanon (1785-87) y luégo las de Humboldt (1798-1829), hechas en las regiones equinocciales del nuevo mundo y del Asia central, rectificaron en breve.

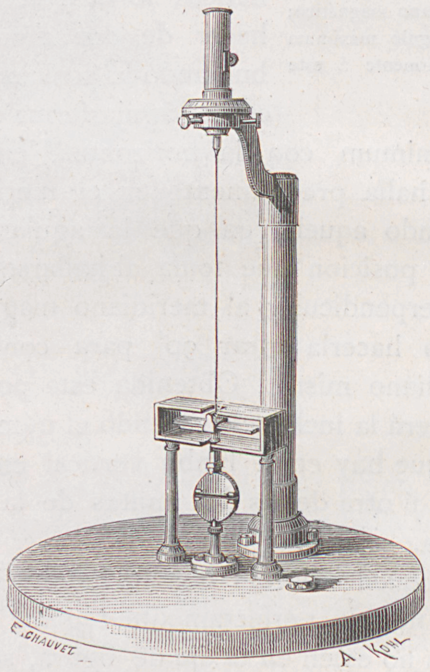


Fig. 34.—Aparato anotador de la declinacion magnética en el observatorio de Kew

Posteriormente, se han reunido en todos los puntos del globo observaciones continuas de la intensidad magnética y de los otros dos elementos del magnetismo terrestre. Gracias á la fundacion de observatorios especiales y al empleo de instrumentos anotadores, se ha podido abarcar el conjunto de los fenómenos y estudiar al propio tiempo las leyes de sus variaciones. Entremos en algunos detalles acerca de este punto.

La observacion directa de los elementos magnéticos con los aparatos que acabamos de

describir requiere mucho tiempo y atencion, y no puede por otra parte dar los valores de estos elementos sino á intervalos más ó ménos distantes entre sí. En los observatorios especiales se observa á horas determinadas, por ejemplo, á las seis de la mañana, al medio dia, á las seis de la tarde y á las doce de la noche.

Pero de algun tiempo á esta parte se ha instalado en los principales observatorios astronómicos aparatos anotadores, con los cuales se puede conocer sin interrupcion, dia y noche, las variaciones de la declinacion, de la intensi-

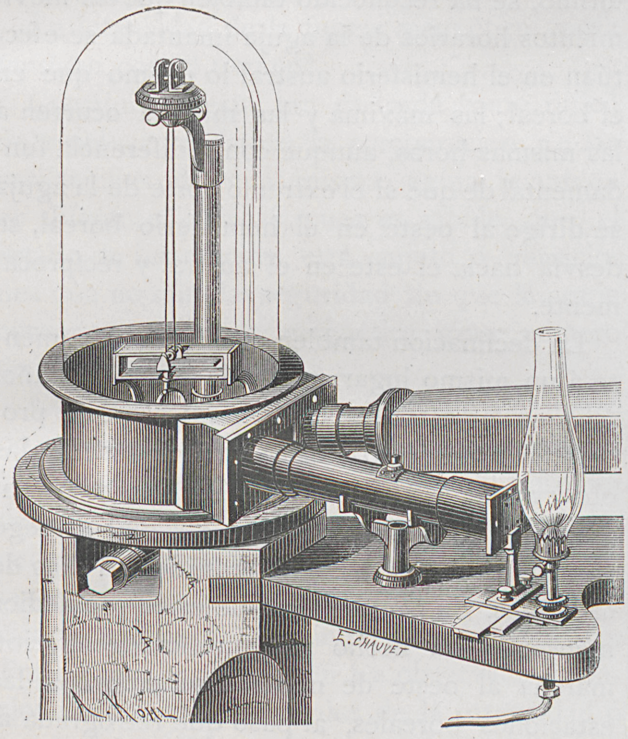


Fig. 35.—Anotador de la fuerza horizontal

dad horizontal y vertical y por consiguiente de la inclinacion. Demos una idea, guiándonos por Gordon, de los aparatos anotadores del observatorio de Kew. Hé aquí el principio en que están basados:

«Un espejo fijado en el iman movible refleja el rayo de luz de una lámpara en una tira de papel fotográfico sensible, movida de un modo continuo por un mecanismo de relojería.

»Si el iman está en reposo, el brazo es una línea recta; si en movimiento, es una línea sinuosa. Se observan tres elementos: la declinacion, la fuerza horizontal y la vertical. De la relacion de las dos últimas se puede deducir la inclinacion, por lo cual no se la observa directamente.

»Las figuras 34 y 35 presentan el aspecto de las porciones del aparato anotador que sirven para la declinacion y para la fuerza horizontal.»

Limitémonos á describir la parte del aparato que inscribe la declinacion.

«Consiste en un iman suspendido, al cual está fijado un espejo: el iman pende de un solo hilo, como en el magnetómetro unifilar. El aparato está situado sobre una piedra maciza. La luz de una lámpara de gas atraviesa la ranura y la lente de un colimador, da en el espejo y se refleja en él al través de un tubo de madera, hasta en la caja que contiene los cilindros y un aparato de relojería. La luz da en uno de los cilindros horizontales, á cuya superficie hay adaptada una hoja de papel impresionable. Si el cilindro estuviera en reposo y el iman en movimiento, se inscribiria en el cilindro una línea negra paralela á su eje, cuya longitud corresponderia con los movimientos extremos del iman. Si este permaneciera fijo, miéntras el cilindro gira, se inscribiria alrededor de este una línea recta perpendicular al eje. Pero si el mecanismo de relojería imprime al cilindro un movimiento de rotacion continuo, y si el iman oscila al propio tiempo, la línea inscrita alrededor del tambor es una curva irregular ó una línea sinuosa; la distancia de cualquiera de sus puntos á la línea de base da la direccion del meridiano magnético en el instante correspondiente.»

IV

VARIACIONES PERIÓDICAS DE LOS ELEMENTOS DEL MAGNETISMO TERRESTRE: INCLINACION, DECLINACION É INTENSIDAD

A pesar del descubrimiento de la declinacion, creyóse por espacio de mucho tiempo que la aguja imantada se dirigia al norte; y en realidad hace más de dos siglos que aquella era nula en Europa, como lo era, por ejemplo, en Lóndres en 1657 y en Paris en 1666. Anteriormente á estas épocas, la declinacion era oriental en ambas regiones, y las observaciones prueban que habia ido disminuyendo de una manera constante.

Pero, tanto en Paris como en Lóndres, y á partir de 1666 ó 1657, la aguja declinó poco á poco al oeste, y de oriental que era pasó á occidental, adquiriendo valores sucesivamente

crecientes hasta 1814 y 1815 en que llegó á su máximum. Despues ha vuelto á seguir una marcha contraria y retrocede poco á poco hácia el meridiano astronómico.

Estas variaciones seculares de la declinacion son generales en toda la superficie del globo terráqueo. Citemos un ejemplo en el hemisferio austral: en el Cabo de Buena Esperanza la declinacion en 1605 era oriental é igual á 0°30', algunos años despues era nula, y á partir de 1609 volvia á ser occidental para llegar en 1791 al maximum de 25°40'. ¿Y en virtud de qué leyes ocurren estas variaciones? ¿Sus amplitudes son las mismas en diferentes lugares y sus períodos de igual duracion? Preguntas son estas á las cuales no se puede responder aún, dado el estado actual de la ciencia.

Aparte de las variaciones seculares, la aguja experimenta en su direccion cambios periódicos anuales y tambien variaciones diurnas. Entremos en algunos detalles acerca de estos dos puntos.

Las variaciones diurnas, observadas por vez primera en Luvo (reino de Siam) por Hellibrand y el padre Tachard, fueron estudiadas por Graham desde 1722. Hé aquí, segun Humboldt, cuál es la marcha horaria de la aguja: «En las latitudes medias del hemisferio magnético boreal, la extremidad norte de la aguja imantada se inclina más al norte á las ocho y cuarto de la mañana. Desde esta hora hasta las dos menos cuarto se mueve de este á oeste hasta llegar á su punto más occidental. Este movimiento de este á oeste es universal respecto de todas las regiones del hemisferio septentrional, ya sea occidental la declinacion como en toda Europa, Pekin, Nertschinsk y Toronto en el Canadá, ó ya oriental como en Kasan, Sitka en la América rusa, Washington, Marmato en Nueva Granada y Payta en la costa del Perú. A partir de la una y cuarto y del punto más occidental, la aguja imantada emprende de nuevo su marcha al este durante la tarde y una parte de la noche hasta las doce ó la una de la madrugada, haciendo con frecuencia una breve pausa á eso de las seis de la tarde. Durante la madrugada, retrograda un poco al oeste hasta que llega á su desviacion mínima, ó en otros términos á su punto de parada oriental, de las ocho y cuarto.»

Pero estas horas no son exactamente las mismas para todos los países, ni iguales las amplitudes de las oscilaciones. De las observaciones hechas en Montsouris se ha deducido que la hora del máximum del medio dia es algo más cerca de las doce en invierno que en verano; el mínimum de la mañana algo más cerca de las ocho en invierno y de las siete en verano. Por lo que hace á la amplitud de la variacion diurna, llega á 15' en las altas latitudes (10' por término medio en Paris), para bajar á 3' y 4' en las inmediaciones del ecuador magnético. Por último, se ha reconocido tambien que los movimientos horarios de la aguja imantada se efectúan en el hemisferio austral lo mismo que en el boreal; las máxima y las mínima ocurren á las mismas horas, aunque con la diferencia fundamental de que si el extremo norte de la aguja se dirige al oeste en el hemisferio boreal, se desvía hacia el este en el austral y recíprocamente.

La declinacion tambien cambia relativamente á un mismo lugar, segun la época del año, ó segun las estaciones. Hé aquí cómo se procede para comprobar estas variaciones. De las observaciones horarias que se hacen diariamente se deduce el promedio del dia; y luégo se toma el de las declinaciones de los dias de cada mes. La comparacion de estos promedios mensuales ha hecho ver que la declinacion marcha al oeste de mayo á setiembre en las estaciones boreales, al paso que retrograda al este durante los demás meses del año. Lo contrario sucede en las estaciones del hemisferio austral. Si se comparan las amplitudes de la variacion secular y las de la anual, se advertirá entre ellas tal concordancia, que Arago ha deducido que crecen y disminuyen al mismo tiempo.

Cassini, Gilpin y Beaufoy reconocieron y estudiaron por primera vez las variaciones anuales de la declinacion á fines del siglo XVIII.

La inclinacion experimenta, como la declinacion, variaciones periódicas seculares, anuales y diurnas. Hay consignadas observaciones hechas en Lóndres y en Paris desde el año 1576, y lo mismo en una capital que en otra se ha notado una disminucion constante de la inclinacion; en Lóndres ha parecido aumentar al principio entre los años 1576 y 1723, pero no

debemos olvidar que entónces eran poco exactos los procedimientos de medicion. De 1671 á 1879, el promedio en Paris es de 2',7 por año; el de los diez últimos años, de 2',1. En Lóndres, si se cuenta la disminucion desde 1723 hasta 1879, el término medio es de 2',7 como en Paris.

Segun Hansteen, el promedio de un gran número de observaciones da para la inclinacion un valor de 15' más en verano que en invierno. El mismo físico ha comprobado que sufre tambien variaciones diurnas, y por la mañana es de 4' á 5' mayor que por la tarde.

La intensidad de la fuerza magnética ¿varia tambien con el tiempo?

Cuestion es esta tan delicada como difícil de resolver mediante la comparacion de las oscilaciones de una misma aguja imantada en diferentes épocas, pues es sabido que el estado de imantacion está sujeto á variaciones que no dan la seguridad de que la aguja conserve su fuerza magnética gran número de años.

Con todo, Poisson ha indicado un método que Gauss ha perfeccionado, y segun el cual se puede medir la intensidad absoluta del magnetismo terrestre sin necesidad de tener en cuenta la fuerza magnética de las agujas empleadas: el resultado de sus observaciones, hechas en Gœtinga, ha sido negativo. Por otra parte, Hansteen ha observado variaciones diurnas y mensuales de la intensidad ó por lo ménos de su componente horizontal, que parecen concordar con las variaciones de la inclinacion; pero este resultado tampoco prueba que haya habido cambios efectivos en la intensidad absoluta. Finalmente, de las observaciones hechas en Kew y en Greenwich ha resultado que hay en efecto una variacion secular de este elemento. Al paso que la *fuerza horizontal* va creciendo, la total disminuye, por el contrario, de año en año.

Hé aquí algunas cifras en apoyo de esta conclusion:

Años	Fuerza horizontal	Fuerza total
1848. .	1,716 en Greenwich	4,791 en Greenwich
1866. .	» —	4,740 —
1867. .	1,776 —	» —
1879. .	1,797 en Kew	4,736 en Kew

V

PERTURBACIONES ACCIDENTALES DE LA AGUJA IMANTADA

Además de las variaciones periódicas que acabamos de describir, la aguja imantada experimenta accidentalmente oscilaciones bruscas, perturbaciones cuyas causas se desconocen todavía, si bien sólo duran muy poco tiempo, y que se caracterizan llamándolas *tormentas magnéticas.* «A consecuencia de la extension dada á la navegacion, dice Humboldt, y de la aplicacion de la brújula á las mediciones geodésicas, advirtiéronse desde luégo perturbaciones extraordinarias en la direccion de la aguja imantada, acompañadas de oscilaciones, temblores y estremecimientos, y se adquirió la costumbre de achacar este fenómeno á un estado particular de la aguja que se designó de una manera muy característica en el lenguaje marítimo francés, diciendo que estaba *loca.*»

Dase el nombre de *tormentas magnéticas* (*magnetic disturbances*, *magnetic storms*) á esas perturbaciones que coinciden á menudo, segun más adelante veremos, con las auroras polares, y tambien con los terremotos, las erupciones volcánicas y las lluvias de estrellas fugaces.

Estas variaciones accidentales afectan más en particular á la aguja de declinacion; rara vez se notan movimientos de báscula en sentido vertical, oscilaciones de la aguja de inclinacion. La amplitud de las oscilaciones suele ser menor de un grado; Humboldt observó desviaciones de 14' á 18', cada una de las cuales duraba de 1 ½ á 3 segundos. Pero con frecuencia «la amplitud y la desigualdad de las oscilaciones que excedian con mucho de las divisiones de la señal (Humboldt observaba la aguja desde léjos con un telescopio que tenia en su foco una mira é hilos cruzados), ya á un lado, ya á los dos, imposibilitaban toda observacion.»

Aunque se trate aquí de fenómenos accidentales, se distinguen sin embargo en las tormentas magnéticas regresos periódicos á horas y á épocas determinadas; son doble más frecuentes y fuertes de dia que de noche, como tambien lo son en los meses de verano, de abril á setiembre, más que en los de invierno del hemisferio septentrional (observaciones de Sabine en Toronto). En el austral (Hobarton) su

mayor frecuencia ocurre en los meses de setiembre y abril, es decir, durante el invierno. Humboldt observó en Berlin que las tormentas magnéticas más violentas y numerosas ocurrian hácia las tres de la mañana y cesaban á las cinco. En Santa Elena y en el Cabo de Buena Esperanza lo son en la época de los equinoccios.

Otra circunstancia notable es la simultaneidad de las tormentas magnéticas en todas las regiones del globo, en puntos separados por muchos millares de leguas de distancia: por ejemplo, la tormenta magnética del 25 de setiembre de 1841, que se observó á la vez en el Canadá, en Bohemia, en el Cabo de Buena Esperanza, en la Tierra de Van Diemen y en Macao. Recordando Humboldt este hecho, cita otros casos en que las perturbaciones son puramente locales, como las que observó en Berlin en 1829 y que no pudieron propagarse hasta Paris, en donde Arago hacia observaciones simultáneas con instrumentos semejantes á los de aquel célebre físico. Ni siquiera llegaron á Freiberg, en donde Reich hacia sus observaciones de magnetismo subterráneo en un pozo de mina.

Acabamos de resumir sucintamente cuanto se sabe acerca de las variaciones periódicas de los elementos magnéticos así como de sus perturbaciones accidentales. Réstanos exponer las hipótesis que se aducen para explicar sus causas.

Si se considera el globo terrestre como un iman con dos polos, segun la hipótesis emitida por primera vez por Gilbert, hay que admitir que este iman no es fijo, y entónces se presentan dos maneras de explicar esta variabilidad: la de Halley, quien suponia que el núcleo magnético interno estaba arrastrado por una lenta rotacion, de la cual dimanaban los cambios seculares de declinacion é inclinacion de la aguja imantada; y la de Æpinus, que consideraba fijo el núcleo, pero de estado magnético variable.

Lo cierto es que las variaciones ánuas ó mensuales y las diurnas están enlazadas con los períodos terrestres, con los dos movimientos de traslacion de la Tierra alrededor del Sol y de rotacion sobre su eje. Como de aquí resultan cambios de período igual en la temperatura de la superficie ó de la costra terrestre y además se sabe que la imantacion ó la fuerza magnética depende tambien de la temperatura, Duperrey suponia que las variaciones de la aguja imantada reconocian por causa la accion calorífica del Sol. Biot las atribuia á una accion específica del Sol considerado como cuerpo magnético, con lo cual asimilaba nuestro globo á un cuerpo sometido á un magnetismo pasajero por influencia.

Ampère basaba toda una teoría del magnetismo terrestre en la existencia de corrientes eléctricas ocultas en la superficie del globo y dirigidas de este á oeste. Valiéndose de esta hipótesis explicaba la direccion general de la aguja imantada así como sus variaciones diurnas y ánuas en los diferentes puntos del globo; la presencia del Sol debajo del horizonte y su altura en las varias épocas del año bastaban, segun él, para explicar las modificaciones experimentadas por las corrientes, y por consecuencia los cambios de la aguja imantada.

Por lo que respecta á las variaciones accidentales ó perturbaciones, no parece dudoso que están en conexion con un fenómeno que describiremos en el capítulo siguiente, ó sea el de las auroras polares. Admítese hoy generalmente que este fenómeno es de orígen magnético, y que las perturbaciones de la aguja imantada y las auroras parecen así efectos de una misma causa, más bien que fenómenos que se engendran recíprocamente. Pero falta conocer esta causa.

¿Es inherente á la Tierra ó bien de orígen cósmico, como inducen á hacerlo creer las coincidencias reconocidas entre los períodos de frecuencia de las auroras y de las perturbaciones magnéticas y los de las manchas y protuberancias del Sol? Sabine, Gautier y Wolf descubrieron casi simultáneamente en 1852 esta conexion entre los fenómenos magnéticos terrestres y los accidentes de la superficie solar. El cuadro siguiente, formado por el docto americano E. Loomis, pone de manifiesto la coincidencia de las épocas de máxima y mínima relativamente á estos distintos fenómenos, y las observaciones de Respighi y de Tacchini confirman el hecho de que las protuberancias hidrogenadas del Sol siguen, por este concepto, la misma ley que las manchas:

EPOCAS DE LAS MAXIMA DE LAS			EPOCAS DE LAS MINIMA DE LAS		
MANCHAS SOLARES	AMPLITUDES DE LAS VARIACIONES DIURNAS	MANCHAS SOLARES	AURORAS BOREALES	AMPLITUDES DE LAS VARIACIONES DIURNAS	AURORAS BOREALES
1778	1777	1778	1784	1784	1784
1788.5	1787	1787.5	1798	1799.5	1798
1804	1803	1804.5	1810	—	1811
1816.5	1817.5	1818	1723	1823.5	1823
1829.5	1829	1830	1833.5	—	1854.5
1837	1838	1840	1843.5	1844	1843.5
1846.5	1848.5	1850.5	1856.5	1856	1856
1860	1838.5	1859.5	1817	1867	1867
1870	1870.5	1870.5			

Secchi ha consignado la misma coincidencia entre la amplitud de la variacion diurna y las manchas solares, con respecto á la serie de años de 1859 á 1865. Gordon, en su *Tratado experimental de electricidad y de magnetismo*, cita el caso siguiente: «En 1859, una tempestad magnética sin precedente por su magnitud, duró desde el 28 de agosto hasta el 7 de setiembre. El profesor Balfour Stewart hizo notar que coincidia con el período de actividad de una de las mayores manchas solares que se han observado.» Un individuo de la Sociedad Real de Lóndres ha publicado en 1875 una Memoria sobre las variaciones del promedio diurno de la fuerza horizontal del magnetismo, del cual dedujo que estas oscilaciones están en relacion con los tres períodos de 26, 29,5 y 27,3 dias, que son las duraciones respectivas de la rotacion del Sol sobre su eje y de las revoluciones sinódicas y trópicas de la Luna.

Acabamos de enumerar, sin comentarlas, las hipótesis que se han propuesto para explicar las variaciones periódicas así como las perturbaciones accidentales de la aguja imantada.

En nuestra opinion, ántes de decidir, con pleno conocimiento de causa, acerca del grado de confianza que merecen, se han de comparar y discutir nuevas series de observaciones hechas con los aparatos perfeccionados de que se sirven hoy los observatorios magnéticos y efectuadas simultáneamente en varias regiones del globo.

Hasta entónces solo podrán hacerse conjeturas más ó ménos probables sobre las causas que producen esos fenómenos de tanto interés para la física terrestre.

VI

DISTRIBUCION DEL MAGNETISMO EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA.—LINEAS ISOGONAS, ISOCLINAS É ISODINÁMICAS

Supongamos que el número de estaciones en que se pueden observar y determinar con precision los elementos magnéticos sea bastante considerable en la superficie de la Tierra para tomar nota de todos los cambios algo importantes que experimentan cuando se pasa de un punto á otro. Figurémonos que tras un año entero de observaciones simultáneas se haya calculado y reducido todos los promedios horarios, diurnos y mensuales, y el resultado definitivo será, para el año, el conjunto de los valores de la declinacion, inclinacion é intensidad magnéticas en la superficie entera del globo terráqueo y en cada uno de sus puntos.

Este estado, esta distribucion del magnetismo en nuestro planeta serian propios de la época considerada; pero claro está que si andando el tiempo, y en la sucesion de los años y de los siglos, se quisieran seguir las fluctuaciones que en ella causan las variaciones de que anteriormente hemos hablado, variaciones seculares, ánuas, diurnas, y tambien perturbaciones accidentales, el cuadro de esta distribucion magnética estaria en movilidad perpetua, y su estudio seria sin duda extraordinariamente complicado. Pero podemos limitarnos á las variaciones seculares, las cuales, efectuándose con gran lentitud, permiten abarcar de una sola ojeada el estado magnético del globo. Con un sistema de líneas que vamos á definir se obtiene una representacion gráfica de este estado que hace su estudio mucho más fácil de lo que lo harian los muchos cuadros numéricos en

que los físicos hubieran consignado sus observaciones.

Dase el nombre de *polos magnéticos* á los puntos del globo en que la inclinacion es igual á 90°, ó lo que es lo mismo, á los puntos en que la fuerza horizontal es nula. La aguja imantada de inclinacion está por consiguiente vertical en dichos puntos, que por cierto no deben confundirse con los de la mayor intensidad magnética. Hay dos polos magnéticos, uno situado en el hemisferio boreal y otro en el austral, y ambos se hallan á distancia desigual de los polos de rotacion ó geográficos. Hé aquí, segun Humboldt, la historia de su descubrimiento:

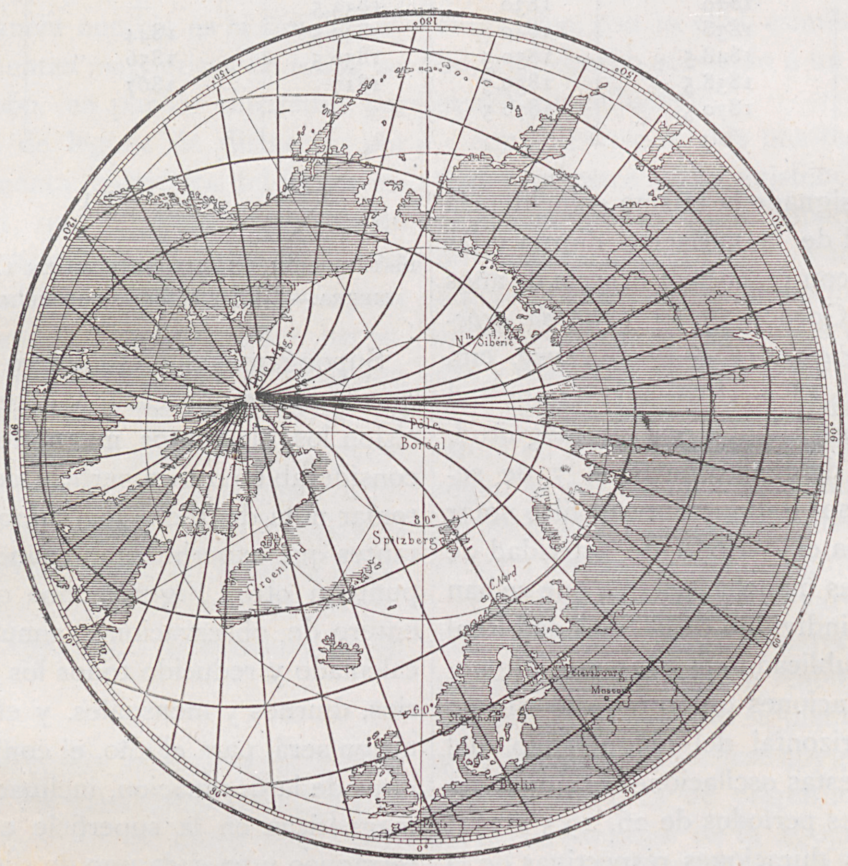


Fig. 36.—Carta de los meridianos y paralelos magnéticos del globo terráqueo en las regiones polares boreales

«A la osadía y á la actividad científica de un solo navegante somos deudores de nociones precisas sobre la situacion de los dos polos magnéticos. Sir James Ross ha determinado el sitio del polo Norte durante la segunda expedicion de su tio sir John Ross, de 1829 á 1833; la del polo Sur, durante la expedicion antártica que él mismo mandó, de 1839 á 1843. El polo Norte magnético, situado á los $70^\circ\ 5'$ de latitud y á los $99^\circ\ 5'$ de longitud occidental, está $5'$ más distante del polo de rotacion de la Tierra que el polo Sur magnético, situado á los $75^\circ\ 5'$ de latitud y $151^\circ\ 48'$ de longitud oriental. La diferencia de las longitudes entre los polos magnéticos es de 109 grados. El Norte se halla en la gran isla Boothia Felix (fig. 36), contigua al continente americano, la cual forma parte del país llamado en un principio North Somerset por el capitan Parry; está á corta distancia de la costa occidental de la isla, cerca del promontorio Adelaida que avanza entre King William's Sea y Victoria Street. No ha sido posible llegar directamente al polo Sur, como se habia llegado al Norte. El 17 de febrero de 1841, estaba el *Erebus* á los $76^\circ\ 12'$ de latitud austral y $161^\circ\ 40'$ de longitud oriental. La inclinacion no era todavía más que de $88^\circ\ 40'$, de lo cual dedujeron los navegantes que estaban á 160 millas marinas inglesas del polo magnético austral. En virtud de las numerosas observaciones de declinacion hechas con el mayor cuidado y con objeto de determinar la interseccion de los meridianos magnéticos se puede suponer con mucha verosimilitud que el polo austral está

situado en la gran region polar antártica llamada South Victoria Land, al oeste de las Albert Mountains, que se enlazan con el volcan activo el Erebo, el cual tiene más de 11,000 piés de altura.»

Si desde los polos magnéticos en que la inclinacion es de 90° se avanza hácia el ecuador, se advierte por lo regular que disminuye hasta ciertos puntos en que la aguja imantada queda paralela al horizonte, es decir, en que la inclinacion es nula. Si se reunen con una línea continua los puntos á que nos referimos, resulta la línea conocida con el nombre de *Ecuador magnético.*

Así como los polos magnéticos no coinciden con los polos de rotacion, así tambien el ecuador magnético no sigue en su direccion la del ecuador terrestre al cual corta en dos puntos, uno situado en el Océano Pacífico hácia los 179° de longitud oriental, y otro cerca de la isla de Santo Tomás hácia la costa occidental de Africa, á los 7° ú 8° de longitud oriental. A partir de este segundo nodo y dirigiéndose al este, el ecuador magnético queda enteramente comprendido en el hemisferio boreal; la curva que forma se eleva hasta los 15° de latitud N.; atraviesa el golfo de Aden y el mar de Oman, la parte meridional del Indostan, el golfo de Bengala, corta la península de Malaca, y luégo, pasando por el norte de Borneo y de Nueva Guinea, va inclinándose al Sur, á reunirse con el primer nodo un poco al este de las islas Gilbert y casi bajo el meridiano del archipiélago de las Fidji. De allí, el ecuador magnético entra en el hemisferio austral, pero sin alejarse al principio mucho del ecuador terrestre, deja al sur las islas Marquesas en un punto en que es casi tangente á este ecuador; inclínase luégo hácia latitudes más y más australes hasta el continente sud-americano, atravesándolo desde los 7° hasta los 15° de latitud austral. Parte en seguida de la costa del Brasil, penetrando en el Océano Atlántico, y poco despues remonta al norte para terminar, en el golfo de Guinea, en el nodo que ha servido de punto de partida para esta descripcion.

Desde los polos magnéticos, en que la inclinacion llega á los 90°, hasta el ecuador magnético, en que es nula, este elemento varía en general de un modo continuo y decrece con la latitud, pero este decrecimiento no es regular. Para formarse idea de las variaciones de la inclinacion con las posiciones geográficas, se reunen con una línea continua los puntos en que la inclinacion es igual, dándose á estas líneas el nombre de *isoclinas* ó *isoclínicas.*

Si se representan del mismo modo la declinacion y la intensidad magnéticas, se tendrá la distribucion del conjunto del magnetismo en la superficie de la Tierra. Llámanse *líneas isodinámicas* las que reunen los puntos del globo en que la intensidad es la misma, y *líneas isogonas* ó *isogónicas* las que unen los puntos de igual declinacion magnética. Consideremos un momento ambos sistemas de líneas.

Hemos visto que la intensidad crece con la latitud; la línea en que esta llega á su mínimum está inmediata al ecuador magnético, pero no coincide con él, del propio modo que los puntos de máxima intensidad no se hallan en los polos magnéticos. Por otra parte, las líneas isodinámicas son más irregulares que las isoclinas. «Cuando se sigue con atencion, dice Humboldt, la direccion de las líneas isodinámicas que se envuelven unas á otras, y se pasa de las exteriores, que son las más débiles, á las interiores cuya fuerza aumenta gradualmente, reconócese en cada hemisferio, y á distancias muy desiguales de los polos de rotacion y de los magnéticos, dos puntos ó focos de la mayor intensidad, uno más fuerte que otro. El más fuerte de estos puntos (á los que se podria dar el nombre de *polos de intensidad*), el foco americano, está situado en el hemisferio norte á los 52°19′ de latitud y 94°20′ de longitud occidental; por lo comun, se supone situado el más débil, llamado foco siberiano, á los 70° de latitud y 114°40′ de longitud oriental; mas quizás deba considerársele unos cuantos grados más al oeste.» El primer foco se halla en un óvalo formado por las líneas isodinámicas, al oeste del lago Superior, entre la extremidad meridional de la bahía de Hudson y el lago canadiense de Winipeg. No se han determinado los dos puntos de mayor intensidad del hemisferio austral con tanta precision como los anteriores; segun las observaciones de sir James Ross y los estudios de Sabine, el uno debe estar á los 64° de latitud y 135° de longitud oriental, cerca de la tierra Adelia; el otro á los 60° de latitud y 127° de longitud occidental.

Entre las líneas de igual declinacion, importa considerar aquellas en que este elemento es nulo, es decir, en que el meridiano magnético coincide con el astronómico. Estas son las *líneas sin declinacion*, que forman tres sistemas: el primero, que puede llamarse *australo-caspiano*, parte de la tierra Adelia hácia los 130° de longitud oriental, se inclina al nor-noroeste hasta la Australia cuya isla cruza por su parte occidental, atraviesa la de Borneo cortándola por el ecuador, se inclina despues corriendo de este á oeste hasta Ceilan y la punta del Indostan, forma allí una curva en sentido contrario para atravesar el mar de Oman y el golfo Pérsico, y remonta luégo desde Kazan hasta Arkhangel para penetrar en el Océano Glacial Artico á pocos grados al oeste de la Nueva Zembla.

La segunda línea sin declinacion, situada á unos 100° de longitud al oeste de la primera, casi le es paralela, aparte de que sus inflexiones no son tan marcadas. Reune el polo magnético boreal con el austral atravesando ambas Américas, la del Sur entre Rio Janeiro (á los 5° próximamente) y la desembocadura del rio de las Amazonas, y la del Norte entre la Carolina y el mar de Hudson cruzándolo por la mitad.

La tercera línea sin declinacion, ó el tercer sistema, forma una curva cerrada, oval, rodeada por las zonas concéntricas de las curvas isogonas de la extrema Asia. El eje mayor de esta elipse coincide sobre poco más ó ménos con el meridiano 135 de longitud oriental y el eje menor con el paralelo 50 de latitud boreal. La mitad septentrional de la curva, del N. E. al S. O., ocupa el continente asiático desde Pekin hasta el norte de la China para dirigirse al través de la Siberia hasta la punta de la península de Kamtschatka; la otra mitad, ó sea la parte meridional, está situada en el Océano Pacífico y envuelve enteramente el archipiélago japonés.

Entre los dos primeros sistemas de líneas sin declinacion, en la parte que comprende la Europa, el Africa y dos fragmentos del continente americano, la declinacion es occidental; las isogonas se dividen allí en dos series de líneas, siguiendo las unas en sus sinuosidades las dos líneas sin declinacion; las otras se replegan á cada lado del ecuador magnético hácia los dos polos, volviendo su concavidad hácia cada uno de ellos. Por el contrario, en las regiones del globo comprendidas entre las mismas dos líneas sin declinacion y compuestas del Asia, de la mayor parte de la Oceanía, así como del gran continente americano, la declinacion es oriental y las isogonas forman contornos irregulares; en este espacio se halla la tercera línea oval sin declinacion del Asia oriental. Enfrente y á 180° de distancia se ve además otro grupo de isogonas concéntricas que se envuelven tambien en forma de óvalo con su centro en el ecuador magnético y en el terrestre, pero cuyo eje mayor es perpendicular á los meridianos.

Merced á las líneas magnéticas que acabamos de definir y de describir, isogonas, isoclinas é isodinámicas, trazadas en un globo ó mapamundi, es posible figurarse de una ojeada la distribucion del magnetismo terrestre, puesto que en su direccion y en su intensidad representan la fuerza que actúa sobre la aguja imantada; pero es indudable que esta distribucion corresponde sólo á una época determinada, dado que todos los elementos varían en períodos seculares, ánuos y diurnos. Por esto conviene representarse las curvas magnéticas como si se desviaran de un modo lento y continuo con el trascurso de los siglos, y además oscilando sin cesar en torno de una posicion media, que es la del año, del dia y de la hora. Además, debe tenerse presente que de vez en cuando experimentan cambios bruscos inherentes á las perturbaciones ó á las tormentas magnéticas.

Cuando se consideran desde este punto de vista los fenómenos del magnetismo terrestre, no se puede ménos de comparar á la Tierra con un cuerpo viviente por el cual circula un flujo nervioso, é impresionado por causas desconocidas todavía, ya dimanen de la accion variable del calor solar, ya de un magnetismo propio del mismo Sol, ó bien de la influencia de cuerpos extraños, como los enjambres de meteoros cósmicos. En virtud de su analogía con las líneas que dividen astronómica ó geográficamente el globo terráqueo, se pueden asimilar las isogónicas con los meridianos y las isoclínicas con los paralelos, consistiendo la única diferencia

que existe entre estos sistemas de líneas en la irregularidad de las líneas magnéticas. Mas tambien conviene advertir que esta analogía podria ser falsa, puesto que en ciertas cartas, como las de Duperrey, están trazados los meridianos y los paralelos magnéticos, y no las isogonas y las isoclinas.

Hé aquí la definicion que Duperrey ha dado del *meridiano magnético verdadero:* es la línea que resultaria trasportando la aguja imantada á las diferentes regiones del globo, á uno y otro lado del ecuador magnético y siguiendo constantemente la ruta que marca su direccion. Definido de este modo, el meridiano magnético verdadero que pasa por un punto es una curva de doble curvatura, al paso que, siendo el meridiano magnético ordinario la interseccion del plano vertical que pasa por la aguja con el horizonte, no es más que un círculo máximo. Los *paralelos magnéticos* son curvas trazadas perpendicularmente á los meridianos verdaderos en cada uno de sus puntos: por lo tanto no se los debe confundir con las isoclinas ni con las isodinámicas.

CAPÍTULO V

EL MAGNETISMO TERRESTRE.—LAS AURORAS POLARES

I

AURORAS BOREALES Y AUSTRALES—DESCRIPCION DE ESTOS FENÓMENOS

Durante la noche se ven en el cielo, á raros intervalos en los climas de las zonas tropicales y templadas, y con mucha frecuencia en las regiones polares, fenómenos luminosos de aspecto característico, cuya causa se relaciona con los del magnetismo. Dichos fenómenos son las *auroras polares.*

Como donde más se han observado estas esplendorosas iluminaciones de la atmósfera ha sido en el hemisferio norte de la Tierra, se las ha dado el nombre de *auroras boreales;* pero hoy se sabe con certeza que tambien son comunes en las regiones australes, y si se ha de dar crédito á algunos observadores modernos, las auroras boreales y las australes son fenómenos simultáneos.

Segun acabamos de decir, las auroras son visibles muy rara vez en nuestros climas, ó por lo ménos su brillo casi nunca es bastante intenso para que no se las confunda con los fulgores crepusculares, siendo probable que tan sólo veamos clara y distintamente las auroras boreales más brillantes y extensas. Si se pudieran hacer observaciones detenidas y compararlas á otras observaciones simultáneas hechas en las estaciones de la zona ártica, quizás resultara de esta comparacion un número mucho mayor de apariciones de auroras en las noches de la zona templada. Segun lo hace observar con razon M. Ch. Martins, uno de nuestros sabios físicos y meteorologistas, como las tintas de la aurora boreal se parecen á las del crepúsculo, un observador poco atento ó mal orientado puede muy bien confundirlas con los reflejos rojizos que presenta á veces el horizonte mucho tiempo despues del ocaso del Sol. Las auroras presentan tambien el aspecto de los resplandores que despide un gran incendio, como sucedió al principio de la aurora polar del 24 de octubre de 1870 durante el sitio de Paris; al pronto se tomó su encendido fulgor por un incendio inmenso, ilusion sobrado compatible con el estado de los ánimos en aquella época, pero que se disipó tan luégo como el fenómeno sufrió las variaciones de aspecto, cuyos detalles damos á continuacion. Hé aquí, segun nuestras propias observaciones, la descripcion de esta aurora y la de la que apareció á la noche siguiente. Con esto se tendrá una idea de lo que es una aurora boreal observada en la latitud de Paris.

A eso de las seis de la tarde del lúnes 24 de octubre, apareció en el horizonte un resplandor rojizo, en direccion N. N. O. Este resplandor se fué extinguiendo poco á poco, se elevó y

acabó por tomar la forma de un arco inmenso que abarcaba de Este á Oeste toda la region boreal del cielo. De pronto se ostentaron algunos rayos de tinta más brillante y de un rojo blanquecino, que surcando el fondo más oscuro de la zona, no dejaron duda alguna de la naturaleza del fenómeno, el cual no era otra cosa sino una magnífica aurora polar. El cielo habia estado todo el dia cubierto de nubes que un fuerte viento arrastraba desde la region del Oeste. Pero al anochecer se habia despejado, y cuando empezó el fenómeno, las estrellas brillaban en casi toda la extension de la zona celeste ocupada por él. El arco luminoso continuó, hasta las ocho de la noche, creciendo en intensidad y en amplitud hasta llegar al zénit y áun más allá. Su color era un rojo muy marcado en el horizonte, hácia las regiones del este y del oeste. Al norte, su intensidad era menor, notándose allí el segmento oscuro que se observa con frecuencia debajo de la zona luminosa en las auroras polares.

A excepcion de los rayos que á distancias irregulares surcaban el fondo del arco y cuya tinta era blanca rojiza ó ligeramente anaranjada, ninguna de las partes del arco presentaba otro color que el rojo. Pero este color variaba con frecuencia de tono; tan pronto era sonrosado, como de un matiz rojo de sangre, muy brillante y luminoso, ó encarnado muy oscuro; sin embargo, en ningun caso perdia su trasparencia ni ofuscaba las estrellas, áun las de tercera ó cuarta magnitud, pues se veia muy distintamente la Osa mayor y la menor, Casiopea, Aldebarán, las Pléyades, etc. En el momento en que el arco llegaba al zénit, toda su periferia exterior estaba orlada de una tinta blanquecina, de un tono lechoso, análoga al aspecto de la Vía láctea, pero mucho más regular y uniforme. El fenómeno fué debilitándose, pero aún era visible á las once de la noche, habiendo llegado á su mayor brillo entre ocho y ocho y media.

A la siguiente noche apareció una nueva aurora, de la cual me limitaré á indicar los carácteres que en mi concepto la distinguieron de la anterior. El arco luminoso abarcaba tambien todo el cielo de este á oeste, pero pasaba del zénit, rebasándole por la parte del sur. Al norte y á unos 30 grados sobre el horizonte sólo se distinguia una region de corta extension que tenia la tinta rojiza de las demás partes de la zona. Entre el norte y el oeste se distinguia una region del cielo que contrastaba con las circunvecinas por su tinta más clara, de un tono blanco verdoso y opalescente.

Como en la aurora anterior, muchos rayos luminosos surcaron de vez en cuando con su fulgor el fondo rojizo, pero sin que al parecer convergieran en direccion determinada. Uno de ellos, de forma prolongada, rectilínea, bastante ancho en su parte media, nos pareció notable por la persistencia de su posicion y de su duracion; hubiérasele tomado por una nube. Entre siete y ocho, el fenómeno de estas apariciones de rayos de luz tomó un carácter singular, digno en nuestro concepto de particular mencion. Al oriente de las constelaciones de Andrómeda y de Pegaso y en un punto muy inmediato á dos estrellas de segunda magnitud, *mu* y *lambda*, que se ven á poca distancia del Cuadrado, se formaron de pronto dos, y luégo tres resplandores de matiz blanco sonrosado, parecidos á nubecillas luminosas ó á nebulosas, que persistiendo al principio en su primera forma, se fueron alargando poco á poco como otros tantos rayos rectilíneos convergentes hácia el punto en cuestion. Luégo aparecieron otros rayos sucesivamente en distintas direcciones y de varios tamaños, pero presentando todos ellos igual carácter de convergencia hácia el mismo punto del cielo, de suerte que en aquella region particular el fenómeno tenia enteramente la apariencia de una gloria.

A la misma hora vimos dos bólidos bastante brillantes, pero no nos fué posible anotar con exactitud ni su punto de partida ni su direccion.

Las auroras boreales tan brillantes como la que acabamos de describir son bastante raras en nuestros climas. Cuando se pasa de la zona templada á las regiones polares, no tan sólo son más frecuentes las auroras, sino tambien, como dice un testigo ocular, M. Martins, «el fenómeno se ostenta con brillo y magnificencia tales que no hay nada que pueda compararse con él. El espectáculo, resplandeciente y variado como un fuego de artificio, cambia á cada instante. El pintor no tiene tiempo de bosquejar las formas y las tintas de esos fulgores

fugaces; el poeta ha de renunciar á describirlas. Ninguna aurora boreal se parece á otra; varían hasta lo infinito.»

Antes de dar la descripcion detallada y metódica de los fenómenos múltiples y complejos que presentan las auroras polares, dejemos de nuevo la palabra al físico que acabamos de citar. Hé aquí en qué términos bosqueja el cuadro de las que tuvo ocasion de observar durante su viaje á Laponia y al Spitzberg: «Ora son simples fulgores difusos ó placas luminosas, ora rayos tremolantes de blancura deslumbradora que recorren todo el firmamento, partiendo del horizonte, como si un pincel invisible se paseara por la bóveda celeste; á veces se detiene; sus rayos, sin acabar, no llegan al zénit, pero la aurora se extiende hácia otro punto; lánzase un haz de rayos, se despliega en forma de abanico, y luégo palidece y se extingue. Otras veces, flotan sobre la cabeza del observador anchurosos tapices dorados, que se repliegan en sí mismos de mil modos y ondulan como si el viento los agitara. En apariencia, están poco elevados en la atmósfera, causando extrañeza no oir el roce de los pliegues al tocarse unos con otros. Las más de las veces se extiende un arco luminoso hácia el norte; un segmento negro lo separa del horizonte, contrastando por su color oscuro con el arco de un blanco brillante ó de un rojo vivo que lanza los rayos, se dilata, se divide y se presenta al fin como un abanico luminoso que ocupa todo el cielo boreal, sube poco á poco al zénit, y reuniéndose allí los rayos, forman una corona, que á su vez despide luminosos destellos en todas direcciones. Entónces el cielo parece una cúpula de fuego; el azul, el verde, el amarillo, el rojo, el blanco juguetean en los rayos palpitantes de la aurora. Pero tan magnífico espectáculo dura pocos momentos; primeramente cesa la corona de lanzar destellos luminosos, luégo se debilita poco á poco; extiéndese por el cielo un fulgor difuso; algunas placas luminosas semejantes á ligeras nubecillas aparecen diseminadas, reuniéndose en breve con una rapidez increible como un corazon que palpita. Al poco rato palidecen á su vez; todo se confunde y se borra; la aurora parece estar en su agonía; las estrellas, ofuscadas hasta entónces por su luz, brillan con nuevo fulgor, y la prolongada noche polar, sombría y profunda, reina de nuevo cual soberana en las glaciales soledades de la tierra y del océano.» *(Del Spitzberg al Sahara.)*

II

RESEÑA HISTÓRICA DE LAS AURORAS BOREALES

En las descripciones de los meteoros luminosos de toda clase que nos han legado los antiguos no son fáciles de distinguir los caractéres que pudieran aplicarse á las apariciones de auroras boreales. Desde Aristóteles hasta Plinio, la confusion causada por la ignorancia en que se estaba todavía con respecto á los fenómenos cósmicos y atmosféricos hacia que los cometas, las estrellas fugaces, los bólidos, los fulgores eléctricos de las tormentas, la luz zodiacal y las auroras polares figuraran indistintamente en la misma clase de fenómenos, siquiera los autores no hayan dejado de darles veinte nombres diferentes. ¿Se refiere Aristóteles á una aurora boreal cuando compara el fenómeno que describe «con una llama humosa, con la luz de una lámpara que se apaga y con el resplandor de un campo en que arde el rastrojo?» ¿No será el segmento oscuro que se ve debajo del arco auroral lo que el mismo autor considera cuando dice: «La abertura que se ve en ese punto del cielo, á causa de la interrupcion de la luz que contrasta con todo cuanto lo rodea y del color azul y negruzco que lo distingue, lleva el nombre de abismo *(chasma)* porque parece como si tuviera cierta profundidad.» *(De los Meteoros.)*

Hé aquí una descripcion de Séneca, sacada del Libro I de sus *Cuestiones naturales,* que se parece á la de Aristóteles, pero que es más precisa y no puede referirse sino á las auroras boreales:

«Los *bothynos* son cavidades ígneas del cielo, rodeadas interiormente de una especie de corona, y parecidas á la entrada de una caverna circular. Las *pythias* tienen la forma de un inmenso tonel de fuego, que tan pronto se mueve como se consume en el mismo sitio. Llámanse *chasmata* esas llamas que se ven en las profundidades del cielo cuando se entreabre. Los colores de estas llamas son tan varios como sus formas; ora presentan un color rojo vivísimo, ora una llamarada leve y pronta á apagarse;

unas veces una luz blanquecina, otras un brillo deslumbrador y otras un resplandor amarillento y uniforme que no destella ni radia.»

Más adelante habla Séneca de «esos fenómenos mencionados con frecuencia en la historia, como el que hace aparecer al cielo totalmente inflamado y en que el incendio llega á tal altura que parece confundirse con los astros, ó bien desciende de tal modo que presenta el aspecto de un incendio lejano.» Tal es en efecto el carácter distintivo de las auroras observadas en nuestros climas, las cuales se reducen á menudo á resplandores vistos en el horizonte, y sólo por excepcion elevan sus fulgores hasta el zénit segun lo hemos visto al tratar anteriormente de las auroras de los dias 24 y 25 de octubre de 1870. En otro tiempo se las tomaba, como hoy, por incendios. «En tiempo de Tiberio, corrieron las cohortes en auxilio de la colonia de Ostia por creer que era presa de las llamas, engañados los soldados por un meteoro de esta clase que despidió el resplandor sombrío de una llama espesa y fuliginosa gran parte de la noche.»

No descenderemos á más detalles sobre la historia de la aurora boreal en la antigüedad y en la Edad media, pues los relatos de sus apariciones que nos han dejado los autores suelen estar mezclados con fábulas y descripciones fantásticas que la credulidad supersticiosa de los observadores les hacia imaginar, de buena fe sin duda, pero que por esto mismo, no tienen gran interés científico (1).

Es menester llegar á los primeros años del siglo XV y en el especial al de 1621 para encontrar la primera mencion científica de una aurora boreal, de la que Gassendi fué testigo é historiador (1). Sin embargo, en 1615, La Mothe le Vayer escribió una carta titulada *De la credulidad*, en la que protesta ya contra las interpretaciones supersticiosas de los fenómenos celestes. Citando el relato de un contemporáneo que pretendia haber observado el 26 de octubre de 1615 «hombres de fuego que combatian en el cielo con lanzas, y que con tan horroroso espectáculo presagiaban el furor de las guerras que siguieron,» añade: «sin embargo, yo estaba como él en la misma ciudad, y contemplé asiduamente el fenómeno de que se trata hasta las once de la noche, por lo cual puedo asegurar que no ví absolutamente nada de lo que él dice, y sí tan sólo una impresion celeste bastante comun, en forma de pabellones que aparecian y se inflamaban de vez en cuando, segun suele suceder con tales meteoros. Muchas personas que aún viven pueden atestiguar lo que yo afirmo.»

La observacion imparcial y serena iba sustituyendo poco á poco á las ilusiones de la credulidad. La ciencia se enseñoreaba del terreno de lo sobrenatural. A partir de dicha época, las personas de ciencia fijaron su atencion en estos fenómenos, y se hicieron observaciones más exactas. Cassini, que reunia cuidadosamente todas las relativas á los fulgores atmosféricos, con objeto de distinguir los que dependian de la luz zodiacal, hace mencion en 1687 de las apariciones de una luz muy blanca que se veia de noche hácia el horizonte del norte, dándole el nombre de *luz septentrional*, y que sin duda alguna era una aurora boreal. Reproduce con tal motivo una relacion de un autor citado por Gassendi en la cual se describe con claridad el fenómeno de la aurora tal como se le observa en las regiones polares. «El verano de Groenlandia es siempre apacible, dia y noche, si puede darse el nombre de noche á ese crepúsculo perpetuo que en verano la sustituye. Como los dias son muy cortos en invierno, las noches son en cambio muy largas, y la naturaleza produce durante ellas una maravilla que no me atreveria á describiros, si la *Crónica islandesa* no la atribuyera á milagro. Al hacerse de noche aparece en Groenlan-

(1) Véase en qué términos habla Cornelio Gemma de dos auroras boreales, una de las cuales apareció en febrero y la otra en setiembre de 1575: «La una, dice, apareció á eso de las nueve de la noche del 13 de febrero, y la otra poco despues de la puesta del Sol, á las siete de la tarde del 28 de setiembre del mismo año, víspera de San Miguel. La primera nos puso ante la vista, por el órden, naturaleza y variedad de formas con que se presentó, un cuadro fiel de las calamidades, vicisitudes y reveses de fortuna á que muy en breve se vió Flandes expuesto..... ¿Qué significaban, si nó, aquellos dos arcos admirables? El uno, más anchuroso hácia el norte, parecia sacar del abismo tenebroso de donde salia otros muchos arcos y una luz muy viva; el otro, declinando un tanto al sur, y muy parecido al arco iris á causa de sus colores, se extendia de levante á poniente pasando por el cinto de Orion. El arco más austral se rompió al poco rato junto al cinto de Orion, y salieron de su brecha muchísimos rayos, lanzas y dardos inflamados, que partian con rapidez increible; era la imágen de un combate sangriento.

(1) Gassendi aplicó al fenómeno el nombre de *aurora borealis*, que aún lleva. Cassini, á fines del siglo XVII, usó tambien la denominacion de *luz septentrional*.

dia una luz cuando la Luna está en su novilunio ó próxima á él, luz que alumbra todo el país como pudiera hacerlo la Luna llena; cuanto más oscura es la noche, más resplandece dicha luz. Sigue su curso por la parte del norte, por cuya razon se la llama luz septentrional; tiene el aspecto de un fuego de artificio y se extiende por el espacio como una prolongada y alta empalizada. Pasa de un punto á otro dejando tras sí una larga humareda; dura toda la noche y desaparece al asomar el Sol.»

«Este autor añade que la luz septentrional se ve claramente en Islandia y en Noruega, cuando el cielo está sereno, y ninguna nube perturba la calma de la noche; que no tan sólo alumbra á los pueblos de las regiones árticas, sino que tambien llega á las nuestras; y cree que dicha luz es la misma que Gassendi observó el 13 de setiembre de 1621 y describió en la vida de M. Pereisec, dándole el nombre de *aurora boreal.*» (Cassini, *Descubrimiento de la luz celeste que aparece en el Zodiaco.*)

En el siglo XVIII estudiaron las auroras boreales muchos observadores, entre los cuales citaremos á Rœmer, Liebknecht, Halley, Maraldi, de Plantade, Godin y Muschenbrœck. Se empezó á emitir algunas explicaciones teóricas y Mairan publicó su *Tratado de la aurora boreal* que tuvo gran éxito (1). Diremos una palabra acerca de las hipótesis á la sazon propuestas. Pero hay que notar que hasta nuestros dias rara vez se estudió el fenómeno allí donde se presentaba en todo su esplendor, con todas sus variedades de aspecto y con una frecuencia que ni siquiera se habia sospechado. Para acabar pues de describir las auroras boreales y exponer la teoría que las relaciona con el magnetismo terrestre deberemos hacer mencion de los sabios que han hecho las observaciones y estudios correspondientes con método y en los mismos sitios en que con más frecuencia se presentan tan interesantes fenómenos.

(1) En el Tratado que acabamos de citar, incluye Mairan el cuadro de las apariciones conocidas de las auroras boreales, desde el año 583 hasta 1751. Resultan 1441, de las cuales sólo 150 son anteriores á 1621; que se distribuyen así entre los meses del año:

Enero, febrero y marzo. . . .	456	Total: 1441
Abril, mayo y junio.	191	
Julio, agosto y setiembre.. . .	278	
Octubre, noviembre y diciembre.	516	

El total de las auroras que han aparecido en el período invernal asciende á 972; las del período estival á 469 solamente; así pues, las apariciones de auroras parece haber sido la mitad ménos frecuentes en verano que en invierno.

III

CARACTÉRES FISICOS DE LAS AURORAS BOREALES: SEGMENTO OSCURO, ALTURA Y AMPLITUD; PARALAJE

Una de las más notables series de observaciones de la aurora boreal en las regiones polares árticas fué la ejecutada de 1838 á 1840 por los sabios que emprendieron á bordo de la corbeta *la Recherche* una expedicion científica á Escandinavia, Laponia, Spitzberg y las islas Feroe. Habíase confiado el estudio del magnetismo terrestre á los físicos franceses Bravais y Lottin y á los suecos Lilliehöök y Siljeström. Bravais hizo el resúmen de los resultados de las observaciones que tuvieron la aurora polar por objeto. Daremos su análisis, tomándolo en parte de Elías de Beaumont, y luégo lo completaremos con algunos datos sacados de la misma Memoria de Bravais, Memoria que, segun la expresion del docto secretario perpetuo de la Academia de ciencias, es «lo más claro que se ha escrito acerca de este asunto.»

«Cuando empiezan á difundirse por el cielo las primeras claridades, dudosas todavía, de una aurora boreal, se divisa ante todo por el horizonte, un poco al oeste del norte, un segmento oscuro que, segun las conjeturas muy verosímiles de M. Bravais, no debe de ser otra cosa sino la masa compacta de las brumas que cubren casi constantemente las aguas templadas del mar polar. En breve aparecen por encima del segmento oscuro resplandores parecidos á los de un incendio, que tal vez resulten simplemente de los fulgores aún lejanos de la aurora boreal reflejados en la superficie de los vapores marinos. Al poco tiempo, se dibuja un arco luminoso sobre el segmento oscuro. Sus dos extremos, sus dos piés, se apoyan en el horizonte, y su punto culminante, que lo divide en dos partes iguales y simétricas, está situado las más de las veces en la inmediacion del meridiano magnético. Por lo regular, cae un tanto al oeste de este meridiano (2) del cual se aleja progresivamente á medida que está más apartado del borde septentrional del horizonte, sobre todo cuando, trasponiendo el zénit, se acerca

(2) Segun Bravais, la desviacion es de unos 11° al oeste para los arcos situados en el zénit, y mayor para los situados al sur. Argelander fué el primero que notó esta desviacion en Abo.

al horizonte meridional, del cual sólo dista algunos grados en ciertos casos (1).

»A veces aparecen al mismo tiempo muchos arcos diferentes; con frecuencia se ven dos, rara vez tres, habiéndose llegado á contar hasta nueve á la vez. Su anchura, que es de 7 á 8 grados por término medio, pasa algunas veces de 25 grados, sobre todo en la parte culminante cuando se halla cerca del zénit. Por la combinacion de las medidas, esta última observacion induce á admitir que los arcos de la aurora boreal son aplanados paralelamente á la superficie de la tierra, y ha sugerido á Bravais un medio á propósito para calcular la altura á que se encuentran sobre la superficie del suelo (2).

»Largo tiempo habia preocupado á los físicos esta altura, y se calculó con razon que se la podria calcular con arreglo á la paralaje resultante de dos observaciones de un mismo arco, hechas simultáneamente por dos observadores situados á una distancia conocida de antemano. Para combinar este medio de determinacion, Bravais fué á pasar trece dias, del 9 al 22 de enero de 1838, en Jupvig, punto situado á 15 kilómetros al norte de Bossekop, para observar por su parte las mismas auroras boreales que sus colaboradores observaban en el punto comun de residencia.

»La comision determinó y trazó con gran cuidado las formas de gran número de arcos, y sobre todo de los más regulares, y discutiéndolas Bravais mediante construcciones geométricas acertadas y fórmulas trigonométricas hábilmente reducidas á la mayor sencillez, demostró que se podian considerar todos aquellos arcos, conforme á la hipótesis de nuestro ilustre corresponsal M. Hansteen de Cristianía, como perspectivas de anillos circulares que tuvieran su centro en el radio terrestre dirigido hácia el polo magnético y su plano perpendicular á este radio.

»Sus fórmulas le han dado para cada caso la elevacion del anillo en la superficie de la Tierra, y este medio de medicion combinado con los otros dos ya indicados, le hizo deducir que los arcos de aurora boreal están situados á una elevacion de 100 á 200 kilómetros, en la region en que las estrellas fugaces y los bólidos se ponen incandescentes y luminosos, es decir, en los límites extremos de la atmósfera terrestre, á la cual se habia atribuido largo tiempo una extension mucho menor.» (Elías de Beaumont, *Elogio histórico de Augusto Bravais.*)

Anteriormente á Bravais, varios observadores, físicos y astrónomos, habian procurado determinar los elementos geométricos de las auroras polares, y en especial la altura de los arcos sobre la superficie terrestre; pero estas tentativas habian dado resultados muy divergentes, pues al paso que Christie y Hansteen deducian de sus observaciones simultáneas (aurora del 7 de enero de 1831) alturas que variaban entre 37 y 192 kilómetros, otros sabios, como Thienemann, Wrangel, Struve y Farqhuarson creian que la mayor elevacion del arco no pasaba de la region de las nubes, si bien su opinion parece basada en ciertos efectos luminosos observados en tal ó cual aurora particular más bien que en mediciones positivas. Bravais, sin dejar de reconocer la dificultad de tomar por punto de mira un límite tan difuso como un arco de aurora boreal, hace observar que los resultados por él obtenidos

(1) Al describir el segmento oscuro, Bravais formula esta serie de preguntas á todas las cuales no se ha podido dar aún contestacion satisfactoria: ¿Acompaña siempre el segmento oscuro á la aurora boreal? Cuando aparece, ¿va siempre seguido de ella? ¿Cuál es su naturaleza? ¿Es un simple efecto de contraste? ¿Se le debe asimilar á una nube ordinaria, ó hay que admitir la existencia de una materia especial que le da orígen?» Cita ejemplos de auroras cuya aparicion no ha ido precedida de la del segmento oscuro; durante un período de seis semanas, notable por la serenidad del cielo, dicho segmento cesó completamente de aparecer, aun cuando dicho período fué abundante en auroras boreales. El profesor Keilhau, que pasó todo un invierno en Talvig, consigna que no vió el segmento oscuro.

Siempre que Bravais ha podido observarlo, estaba situado en el meridiano magnético, en direccion del norte ó del noroeste y á veces del oeste, y hace notar que precisamente en esta direccion se hallaba el mar glacial, á pocos miriámetros de distancia. «Un inmenso stratus de bruma, dice, lo cubria gran parte del invierno, y nuestras observaciones meteorológicas indican que la atmósfera estaba habitualmente brumosa hácia aquel lado, lo mismo de dia que de noche. Esta bruma, impelida por un viento oportuno, se elevaba con frecuencia hácia nosotros, llegaba á nuestro zénit y se resolvia en copos de nieve.» Las varias circunstancias del fenómeno parecen explicarse muy bien por esta hipótesis. Sin embargo, Bravais cita casos poco numerosos en que en el interior del segmento oscuro aparecian arcos luminosos, placas aurorales.

(2) De la discusion de un crecido número de mediciones de arcos aurorales, Bravais ha deducido las alturas, amplitudes y anchuras medias siguientes (contando las alturas sobre el horizonte norte y excediendo por tanto de 90° para los arcos australes):

	Alturas	Amplitudes	Anchuras
Arcos boreales.	44°,2	152°,4	7°
— zenitales.	90°,0	175°,4	25°
— australes.	125°,0	184°,9	7°,8

La anchura de 25° se ha deducido de arcos situados á ambos lados del zénit, á 30° de distancia norte y sur.

son verosímiles en alto grado, por cuanto la altura media de los arcos (de 100 á 150 ó 200 kilómetros) es del mismo género de magnitud «que las deducidas de la variacion de las amplitudes de los arcos durante su rotacion aparente alrededor de la perpendicular al meridiano magnético y de la comparacion de las anchuras de las bandas zenitales en su cúspide y en sus bases.»

A causa de ciertas apariencias se ha podido creer en la escasa altura ó en la proximidad de la aurora boreal. Bravais las discute y demuestra fácilmente que distan mucho de ser concluyentes. «La ilusion, dice, que nos induce á suponer á la aurora boreal muy próxima, dimana á veces simplemente de la apariencia fuliginosa de sus fulgores, sobre todo cuando su movimiento se parece además al de las bocanadas de vapor que salen de una locomotora; pero no se debe atribuir valor alguno á tal indicio.» La aurora parece á veces comprendida entre una montaña y el observador; el pié de sus rayos parece prolongarse por debajo de la cima. Bravais lo ha visto así, y atribuye esta apariencia á la reflexion de la luz en la nieve cristalizada que cubria la montaña.

Una opinion muy difundida, no tan sólo entre los habitantes de las regiones polares, sino tambien entre algunos físicos, supone en la aurora un ruido particular que los observadores de Bossekop no llegaron á oir, á pesar de la prolija atencion con que siguieron las diferentes fases de gran número de auroras. Bravais opina que los que creen haber percibido ese ruido pueden haber sido engañados por varias causas. «Tales son, dice, el silbido del viento, los torbellinos de la nieve, el lejano murmullo del mar, el crujido de la nieve al congelarse despues de haber empezado á derretirse, etc.» Acerca de este punto, mencionemos la opinion de Siljeström que concuerda con la de Bravais.

«He procurado, dice este físico, obtener de los habitantes de Finmark algunos informes sobre los aspectos del meteoro, y especialmente sobre el supuesto ruido de la aurora boreal.

»La mayoría de las personas con quienes he hablado de este asunto me aseguraron que habian *oido* verdaderamente á la aurora en ocasiones en que habia aparecido con inusitado brillo. Muchas me dijeron tambien que la habian visto bajar á la tierra y rodearlas enteramente con su luz; lo cual les sucedió principalmente al atravesar en invierno la gran meseta montañosa que separa el Finmark de la Laponia propiamente dicha. Los lapones creen por lo general que se oye cierto ruido en la aurora boreal, y lo comparan con el que producen las articulaciones de las piernas de los renos, y que se parece á la decrepitacion de las chispas eléctricas.

»Creo que todos estos asertos pueden dimanar de una ilusion de los sentidos. Ante todo, y por lo que respecta á la bajada de la aurora á tierra, debe tenerse en cuenta el efecto engañador de la reflexion de la luz en una llanura dilatadísima de nieve, estando el cielo rodeado por todas partes de los vivísimos fulgores de la aurora. M. Thomas, ingeniero de las minas de Kaafiord, pretendia haber visto la aurora entre él y una montaña que me designaba, pero sin oir ningun ruido. Tampoco me es posible negar la existencia de este ruido; mas, cuando ménos, hay motivo para suponer que tambien en esto se padece una ilusion fácil de explicar. Y en efecto, al ver todo el cielo cubierto de llamas, como sucede con las auroras muy intensas, al contemplar esos fulgores variables y dotados de movimientos rápidos, ó bien esos rayos formados en un instante que parten como cohetes con espantosa velocidad y destellantes de vivísima luz, paréceme muy natural que el espectador sufra algun error y que en todas esas apariencias ígneas crea oir cierto chisporroteo, atribuyendo al sentido del oído lo que no ha percibido sino por el de la vista. Admitida por otra parte la posibilidad de la primera ilusion, sábese cuán fácilmente se propaga un error por tradicion, á pesar del testimonio de los sentidos.

»Entre las personas á quienes interrogué acerca de este punto, habia un anciano de setenta años á quien debo muchas nociones sobre otros asuntos relativos á Finmark. Pues bien, este hombre que se habia ocupado mucho de experimentos de agricultura y observado siempre con interés el estado del cielo y del viento, jamás habia oido el supuesto ruido de la aurora boreal. Por estas razones, el caso me parece cuando ménos dudoso.» (*Viajes á Escandinavia, Laponia, etc. Auroras boreales.*)

IV

CARACTÉRES FISICOS DE LAS AURORAS BOREALES: BRILLO, COLORES, MOVIMIENTOS DE LOS ARCOS Y DE LOS RAYOS

De las apariencias geométricas de las auroras y de su distancia probable á la tierra, pasemos al estudio de su aspecto físico y de su luz.

La forma de los arcos aurorales es á menudo tan rara y tan irregular, que no se la puede describir. Tan sólo el dibujo puede dar idea de ella, y las figuras 36 y 37 suplirán esta insuficiencia. Recordemos, sin embargo, con Bravais, que una de las formas más singulares y constantes del arco auroral es la que le da la apariencia de un *cortinaje ondulante*, pareciéndose á los pliegues de una bandera ó al gallardete de un buque de guerra desplegado horizontalmente y agitado por el viento. «No es ilusion de óptica, dice Bravais, lo que induce al observador á ver en la materia del arco pliegues ondulantes y unas partes huecas y otras de relieve, aun cuando en la mayoría de los casos no pueda tener seguridad alguna por este concepto. Estas formas de festones y cortinajes apénas se manifiestan sino en los arcos formados de rayos yuxtapuestos; son raros en los de estructura completamente nebulosa, y constituyen uno de los caractéres más marcados de la aurora boreal.» Bravais menciona tambien la forma *de gancho* que suele tener el extremo oriental del arco, cuando este se encorva hácia arriba para dirigirse al punto del horizonte situado sobre su vértice; rara vez se ve el gancho en la parte occidental del arco auroral.

Es un fenómeno curioso el de la traslacion de los arcos que, despues de formados, no quedan invariablemente fijos en su punto de orígen, sino que pueden desviarse trasladándose paralelamente á sí mismos de norte á sur ó de sur á norte. «Un arco que aparezca cerca del horizonte norte puede elevarse gradualmente, llegar al zénit, descender hácia el horizonte austral, y estacionarse allí algun tiempo, para retroceder por el mismo camino.» Los piés del arco, casi fijos al este ó al oeste de la brújula, parecen girar entónces en torno de esos puntos como alrededor de una charnela.» (1) En los arcos de forma de gancho se puede reconocer otra clase de movimientos, los de oeste á este ó viceversa. Por último, tambien sucede que siendo la altura del arco la misma, sus piés se desvian en sentido inverso uno de otro; y entónces el arco entero parece girar en derredor de la vertical, ya en sentido del movimiento diurno, ya en el opuesto.

La velocidad del movimiento de traslacion de los arcos llega con frecuencia á 5° y rara vez á 17° por minuto. En el primer caso, suponiendo que el arco tenga una altura vertical de 200 kilómetros en la atmósfera, la velocidad efectiva seria de 300 metros por segundo, admitiendo por supuesto que al movimiento aparente del arco correspondiese una traslacion de materia efectiva y ponderable.

La luz de los arcos es de color blanco amarillento uniforme; el borde inferior está mejor marcado y limitado que el superior, lo cual puede explicarse en parte por la mayor distancia que media entre el primero de dichos bordes y el observador; pero es posible que esta diferencia provenga de la mayor condensacion de la materia auroral en el borde del arco más septentrional. Por lo que hace al brillo de los arcos aurorales, Bravais compara el de los más resplandecientes con el de las estrellas de primera magnitud; pero lo más frecuente es que tengan el de las estrellas de tercera y cuarta.

«El fenómeno más singular que presentan los arcos de la aurora es sin disputa su tendencia á descomponerse en rayos cortos, dirigidos en el sentido de la anchura del arco y que convergen hácia el zénit magnético. Con frecuencia tambien los arcos parecen formados de fibras trasversales á sus bordes, cortadas en sus extremos siguiendo una curva regular que forma el borde inferior del arco. Los arcos enteramente nebulosos y homogéneos no son tal vez los más frecuentes; y los compuestos de radios, ó *arcos radiados*, aparecen con extraordinaria frecuencia.» Entre estas dos formas, se ven todas las intermedias; además, un arco nebuloso se resuelve á menudo, ora parcial ora totalmente en un arco radiado.

El brillo de los radios, de esas columnas lu-

(1) Segun el resultado de sus observaciones, Bravais consigna que los arcos de la aurora le han parecido marchar sesenta veces de norte á sur y treinta y nueve de sur á norte. Observó veinticinco noches el primero de estos movimientos, y once noches el de sentido inverso; por último, durante diez y siete noches observó los dos movimientos antagónicos.

minosas que, segun la expresion de Bravais, forman el segundo tipo de los fulgores de la aurora boreal, es variable como el de los arcos, pero más vivo á igualdad de superficie. Sin embargo, las estrellas suelen ser visibles al través de ellos, y si se ofuscan, es á causa de la claridad del fondo en que se proyectan. Los radios están sujetos á dos movimientos; uno en virtud del cual el radio se alarga hácia el zénit ó el horizonte; y otro que le hace desviarse paralelamente á derecha ó á izquierda. Estos dos movimientos son á veces extraordinariamente rápidos. Bravais hace mencion de un radio que en 27 segundos recorrió en el cielo un espacio angular de 90°. Segun este observador, el movimiento lateral no tiene nada de real, y cree poder asegurar que las más de las veces era un simple cambiante de luz, debido á la iluminacion sucesiva de los rayos inmóviles, por lo cual lo caracteriza con el nombre de *movimiento ondulatorio* ó de *apariencia ondulatoria*. El movimiento longitudinal ó vibrátil presenta ciertas particularidades interesantes. Si el rayo, permaneciendo casi en el mismo sitio, se alarga rápidamente hácia arriba ó hácia abajo, dícese que *vibra* ó *cimbrea*; y *juega* ó *danza* cuando baja y sube alternativamente, sin que su longitud varíe de un modo notable. «Este es un caso de los más frecuentes, dice Bravais, así como de los que mejor caracterizan á las auroras boreales. Esos rayos que saltan y juegan son las *capræ saltantes* de los antiguos autores, las *marionnettes* de los habitantes de Terranova y del Canadá, y los *merry dancers* de los ingleses.»

A veces los rayos aurorales están situados en gran número de modo que convergen hácia una misma region del cielo cuya parte central queda oscura. El conjunto presenta en cierto modo el aspecto de una corona. Esta disposicion tiene por causa un efecto de perspectiva fácil de explicar. «Si la parte de la atmósfera terrestre, dice Bravais, situada sobre el plano del observador está ocupada por un gran número de rayos distintos, todos paralelos entre sí y á la direccion de la aguja de inclinacion, se formará, segun las reglas de la perspectiva linear, un *punto de fuga* hácia el cual parecerá que convergen todos los rayos, y que resultará determinado por el encuentro de la esfera celeste con la línea visual trazada desde el ojo del observador paralelamente á la aguja de inclinacion: este punto de encuentro es el que designamos con el nombre de zénit magnético.»

Estas coronas boreales no están siempre completas, pues puede haber sectores más ó ménos extensos vacíos de luz; á veces adquieren un aspecto esplendoroso; los rayos que las componen cobran un brillo vivísimo, entran entónces en movimiento y pierden su tinta amarillenta habitual para colorarse de verde y encarnado; en tal momento, dice Bravais, «la corona presenta el más alto grado de magnificencia que pueda desplegar una aurora boreal.» Y, circunstancia notable, miéntras esas brillantes coronas resplandecen, los demás fulgores de la aurora palidecen para reaparecer despues de la desaparicion del meteoro. Entónces sucede con frecuencia que los rayos se separan, dirigiéndose al norte ó al sur ó á ambos lados á la vez; tórnanse muy pálidos, adquieren una longitud prodigiosa y forman un cinto luminoso alrededor del horizonte.

Para describir todos los variados aspectos que presentan las auroras polares, deberíamos ocuparnos tambien de las *placas*, especie de fulgores difusos de forma oval, análogos á los cirrus; luégo los *resplandores vagos, nebulosos*, los *vapores aurorales* que, diseminados por una gran extension del cielo, lo cubren á veces casi por completo, y por último las *bandas*, que parecen columnas nebulosas.

Los fulgores que acabamos de mencionar, poco intensos en la region superior de la bóveda celeste, producen al acumularse en el horizonte una luz bastante viva para figurar grandes incendios: están sujetos á movimientos irregulares, especie de palpitaciones que suelen afectar á todo su conjunto, de suerte que los fulgores y las placas aurorales obedecen á la vez á las mismas alternativas de disminucion ó recrudecencia de luz. Invaden el cielo á la hora más avanzada de la noche y su aparicion es por lo regular precursora de la próxima extincion de la aurora.

Cualquiera que sea la naturaleza de la materia de que se compone la aurora boreal, todo indica que debe ser de extraordinaria tenuidad. Y en efecto, ya hemos visto que apénas se de-

bilita la luz de las estrellas al atravesarla. Además, Argelander no ha notado en sus observaciones astronómicas hechas en Abo, ningun rastro de refraccion producida por la luz auroral, y Bravais ha comprobado la exactitud de este hecho al determinar la altura de la estrella polar.

La luz de la aurora tiene por lo comun ménos



Fig. 36.—Aurora boreal observada en Alaska

brillo que la de la Luna llena. «Todo cuanto he podido hacer, dice Bravais, al resplandor de la brillantísima corona del 10 de enero, ha sido leer, *no sin trabajo,* algunas palabras de un periódico impreso en la letra del cuerpo 8, siendo así que es fácil leer estos tipos á la luz de la Luna llena.» En ningun caso llega el brillo intrínseco de los arcos ó de los rayos aurorales al de la luz lunar.

Terminemos esta descripcion de los fenómenos que presentan las auroras boreales con algunas palabras acerca de su color. Este color es por lo comun blanco; pero puede tirar al amarillo bajo y al rojizo. Cuando el brillo es

más intenso y comienzan esos movimientos rápidos que dejamos descritos, los rayos se coloran, la tinta amarilla brillante refluye de las extremidades al centro y estas pasan una al rojo y otra al verde. Cuanto más resplandeciente es la zona de estos colores, más lo es tambien la otra. El rojo de la aurora se tiñe de morado, y el verde, bastante marcado, es ligeramente azulado.

Bravais no pudo estudiar con el espectroscopio la luz de la aurora boreal, porque en la época en que hizo sus numerosas observaciones en Laponia no se conocia aún el método del análisis espectral. Pero posteriormente se ha reconocido que, entre las diferentes rayas variables de que se compone la aurora boreal, hay una que se ve constantemente; es una raya verde cuya longitud de onda es $0^{m},000557$ segun Angström. Respighi, Winlock y Clarck y otros sabios que observaron por este método la aurora boreal del 4 de febrero de 1872, comprobaron que la raya de Angström era visible en toda la superficie del cielo. Hé aquí lo que Secchi dice acerca de ello: «Se ha creido observar las rayas del hidrógeno, pero no se ha determinado su posicion de una manera satisfactoria. Hasta se han visto porciones de espectro continuo. En los momentos en que el fenómeno era más brillante, hemos vislumbrado muchas rayas, y una parte del espectro nos ha presentado en el verde la apariencia acanalada que tiene el del nitrógeno. Vese pues que la luz de la aurora polar es muy variable.» Zollner atribuye la raya principal de la aurora al oxígeno á baja temperatura. Respighi ha notado la misma raya en el espectro de la luz zodiacal, lo cual seria, en su concepto, una prueba de comunidad de orígen. Por último, parece asimismo cierto que el espectro de la corona solar tiene dicha raya.

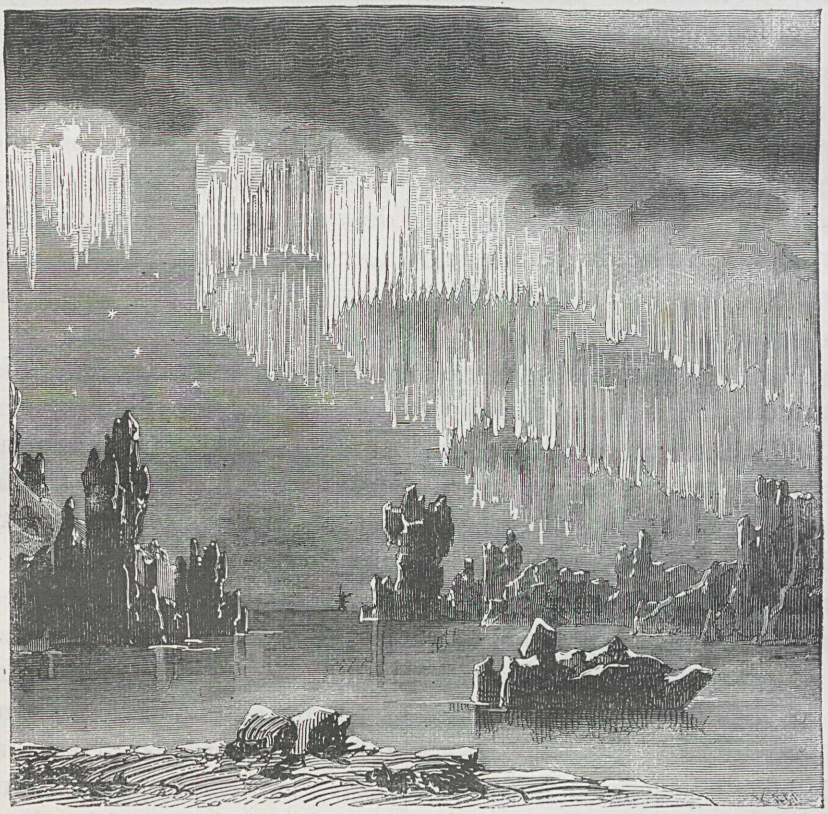


Fig. 37.—Aurora polar en forma de pabellon

Despues de haber descrito con todos sus detalles el fenómeno de la aurora boreal, y ántes de exponer las hipótesis propuestas para explicarlo, convendrá que manifestemos lo que se sabe acerca de la frecuencia de sus apariciones.

Segun las observaciones de Bravais, que han comprendido algo más de seis meses del período invernal (de 19 de setiembre de 1838 á 8 de abril de 1839), de 201 dias, 151 han tenido aurora boreal. Como en las 50 noches restantes, el cielo estuvo nublado, Bravais dedujo

que «las noches sin aurora boreal son decididamente noches excepcionales.» Esta permanencia de las auroras ¿subsiste indefinidamente en las regiones polares? El sabio observador no se ha atrevido á dar una respuesta terminante á esta pregunta, áun cuando de los informes suministrados por los habitantes del Finmark no resulte nada que autorice á pensar que las auroras hayan sido en el invierno de 1839 más numerosas que en los inviernos precedentes. Cree además que el fenómeno se presenta en pleno dia lo mismo que de noche, de suerte que «las auroras de dos ó más noches consecutivas pueden ser un solo fenómeno cuya duracion se prolonga por espacio de muchas veces veinticuatro horas.»

«Esta sucesion no interrumpida, añade, no impide que la aurora boreal esté sujeta á las leyes de su período diurno, á lo ménos por lo que respecta á algunas de sus manifestaciones. Así es que la aparicion de los arcos, de los radios ó de las placas, la hora en que se coloran sus fulgores, llegan á su brillo máximo, ondulan ó palpitan, la de su desaparicion, etc., no dependen del azar. El período diurno de las fases sucesivas es muy evidente, no siéndolo ménos el de las perturbaciones magnéticas que las acompañan.» Por lo comun, el fenómeno llega á su mayor esplendor entre diez y once de la noche.

La discusion de las observaciones ha probado á Bravais que los movimientos notados en los arcos y en los rayos no se pueden atribuir á la rotacion ni á la traslacion de la Tierra, ni al movimiento general que arrastra al sistema solar por el espacio. Lo que debe deducirse de aquí es que la aurora boreal es un fenómeno terrestre, atmosférico, y no un fenómeno cósmico extraño por su orígen á nuestro globo.

La continuidad apénas interrumpida de la aurora boreal en las regiones inmediatas al polo ha hecho decir con razon que su luz parece una compensacion otorgada á esas regiones privadas de Sol, á la cual hay que añadir la claridad de la Luna, que hallándose en la época de su plenilunio en oposicion al Sol, permanece entónces casi constantemente sobre el horizonte.

«La doble luz del astro de las noches y de la aurora polar disminuye mucho la oscuridad de la noche invernal en las regiones polares, dice Elías de Beaumont. Estas claridades irregulares les bastan á los lapones, samoyedos y esquimales, conducidos por sus renos ó por sus perros, para recorrer en trineo las nieves sin límites que cubren su país, y cuando la ausencia del Sol oscurece sus ideas, el resplandor caprichoso de las apariciones luminosas les presenta imágenes fantásticas, á propósito para despertar su imaginacion, ejercitándola maravillosamente.»

Si el fenómeno de la aurora polar parece presentarse de un modo casi continuo en las altas latitudes, esto no significa que su frecuencia no esté sujeta, en el decurso de los años y de los siglos, á cierta periodicidad. Un sabio sueco del siglo pasado, Celsio, sospechaba ya esta periodicidad, que las investigaciones hechas en los últimos años han demostrado. Por otra parte, áun en la hipótesis de que los polos fuesen el asiento de auroras perpetuas, bastaria para explicar la intermitencia de sus apariciones en nuestros climas, admitir que por su brillo y extension están sujetas á recrudecencias periódicas.

Hasta aquí tan sólo hemos hecho mencion de las auroras *boreales*, es decir, de las que tienen su orígen cerca del polo norte de la Tierra; pues que en efecto, son las más fácil y frecuentemente observadas. Pero tambien hay auroras *australes*, aunque la escasa navegacion en los mares antárticos, la falta de estaciones fijas de observacion á causa de la gran distancia de las tierras del polo austral, y por último, el estado generalmente brumoso de la atmósfera en aquellas regiones, son probablemente otras tantas causas de los pocos datos que tenemos acerca de dichas auroras. Cítanse algunas bastante considerables para que se las haya podido observar hasta en el hemisferio norte, habiéndose visto auroras australes en Escocia del propio modo que se han visto las boreales en el Perú. A fines de agosto de 1859 se divisó en todo el hemisferio norte una aurora boreal de vivísimo resplandor, y hácia la misma época los habitantes de Chile y de la Australia observaban una aurora austral. Esta coincidencia fué muy comentada, y seria en efecto muy importante para la teoría de las auroras si no constituye un caso excepcional, y con mayor

motivo si, como lo creen varios físicos, es un hecho general.

V

TEORÍA DE LAS AURORAS POLARES

Cuantas hipótesis se han propuesto para explicar las auroras polares se pueden clasificar en dos categorías, segun que sus autores hayan considerado estos fenómenos como emanados de la misma causa que los demás del magnetismo terrestre ó como extraños á ellos. Nos limitaremos á mencionar someramente las hipótesis de esta segunda clase.

Muschenbroeck y Lemonnier creian que en ciertas épocas brotan de las entrañas de la Tierra nubes de una materia bastante ligera para evaporarse, y luégo para reunirse en las altas regiones donde se inflama y se hace luminosa y como fosforescente. «La aurora boreal, segun los partidarios de esta opinion, no es una llama como la de cualquier fuego; sino que se parece al fósforo, que al pronto no luce, pero que despues despide una débil claridad.» Eulero atribuia la aurora al impulso de los rayos solares que lanzan á gran distancia las partículas de las altas regiones de la atmósfera, haciéndolas luminosas por la reflexion de dichos rayos en su superficie. El gran geómetra oponia esta teoría á la de Mairan, que predominó hasta mediados del siglo XVIII. Mairan no veia en las auroras boreales, lo propio que en la luz zodiacal, otra cosa sino los efectos producidos por la penetracion de la atmósfera del Sol en la de la Tierra. Por último, algunos físicos, como el abate Hell, creian que las auroras eran fenómenos ópticos de reflexion, análogos á los parhelios.

Seria supérfluo refutar estas distintas explicaciones, cuya insuficiencia reconoce por causa la escasez de datos que siglo y medio atrás se tenia sobre el fenómeno mismo y las circunstancias de su produccion.

Pasemos á las teorías que lo relacionan con el magnetismo ó con la electricidad terrestre.

Halley (1) fué el primero en sospechar que habia cierta conexion entre la aurora polar y las perturbaciones de la aguja imantada, pero hasta 1741 no confirmaron los suecos Hiorter y Celsius las miras de Halley con observaciones positivas. Wargentin, en 1750, y luégo Canton y Wilke pusieron fuera de duda esta coincidencia. A partir de esta época, el magnetismo terrestre ó la electricidad sirven de base para las hipótesis sobre la naturaleza de la aurora.

Eberhart, físico aleman, y P. Frisi de Pisa asimilaron la luz polar á la que producen las descargas eléctricas en los gases enrarecidos. Dalton adoptó casi las mismas ideas, sólo que las completó atribuyendo los rayos aurorales á la existencia de partículas ferruginosas dotadas de propiedades magnéticas en las altas regiones. Biot, que estudió las auroras boreales en el viaje que hizo á las islas Shetland, las asimilaba á verdaderos nublados, formados de elementos sumamente tenues y luminosos que flotaban en los aires. Para explicar la naturaleza evidentemente magnética del fenómeno, Biot suponia que dichos elementos son partículas metálicas, y por consiguiente, excelentes conductores del flúido eléctrico. Estando las capas de la atmósfera desigualmente cargadas de electricidad, ciertas columnas de estas materias tenues servian para dar paso al flúido que iluminaba su ruta, segun se observa siempre que la electricidad pasa al través de conductores discontinuos. Faltaba explicar la existencia de esas columnas de materia, para lo cual recurria Biot á las erupciones de los volcanes situados en la inmediacion de los polos magnéticos. Tan ingeniosa teoría no pudo resistir á la objecion hecha por Becquerel y basada en un hecho práctico cual es el de que las materias expelidas por los volcanes no contienen ninguna partícula metálica, y sí tan sólo sustancias desprovistas de toda conductibilidad eléctrica.

Lleguemos ahora á las teorías contemporáneas de las auroras polares, entre las cuales

---

(1) Halley propuso, para explicar las auroras boreales, una hipótesis que Humboldt calificó con motivo de *fantástica*. Segun ella, hay en el interior del globo, entre las capas en que reposa el suelo y el núcleo sólido interior *habitado tambien por hombres*, un flúido luminoso que no es otra cosa sino el flúido magnético. En su concepto, la salida de este flúido por las grietas de las rocas y las hendiduras del suelo es lo que produce el fenómeno de las auroras polares. Como la corteza terrestre es ménos gruesa en los polos que en el ecuador á causa del aplanamiento, el flúido encuentra naturalmente un paso más fácil en las regiones polares que en cualquier otra parte. Halley admitia además que la rotacion del núcleo interno era causa de las variaciones diurnas y ánuas de la declinacion.

analizaremos la propuesta por M. de la Rive que es la más generalmente adoptada. Pero ántes, citemos el modo cómo Humboldt considera el fenómeno en su *Cosmos:* «No debe verse en la aurora boreal, dice, la causa de la perturbacion que altera el equilibrio del magnetismo terrestre; sino el resultado de la actividad del globo, exaltada hasta producir fenómenos luminosos, y que se manifiesta, por una parte, por esa iluminacion polar de la bóveda celeste, y por otra, por las oscilaciones desordenadas de la aguja imantada. Vese por esto que la luz polar es una especie de descarga sin detonacion, el acto que pone fin á la tormenta magnética, así como, en las descargas eléctricas, el equilibrio destruido se restablece por otro fenómeno luminoso, el relámpago seguido del trueno.» Falta saber, si esta opinion de Humboldt es cierta, cómo es posible darse cuenta del estado magnético tempestuoso en que casi siempre se encuentran las altas regiones de la atmósfera en la proximidad de los dos polos terrestres.

Hé aquí cuál es la solucion de este problema, segun M. de la Rive. Ante todo considera que la ciencia dispone definitivamente de dos puntos generales: el primero es la coincidencia de las auroras boreales y de las australes; el segundo demuestra que el fenómeno de las auroras ocurre por lo general en las regiones más elevadas de la atmósfera, pero no fuera de ella. Admitidos estos dos puntos, el sabio físico cree que los vientos alisios llevan hasta las regiones polares la electricidad positiva que se remonta á los aires con los vapores de los mares tropicales. Acumulada esta electricidad cerca de los polos, actúa por influencia sobre la electricidad negativa de que está cargado el globo terráqueo. De aquí resulta una condensacion de las electricidades contrarias y una neutralizacion en forma de descargas más ó ménos frecuentes, tan luégo como la tension de ambos flúidos llega á su límite. «Estas descargas, dice, deben ocurrir casi simultáneamente en ambos polos, pues siendo perfecta la conductibilibad de la Tierra, la tension eléctrica debe ser en ellos la misma, con algunas ligeras diferencias que proceden de las variaciones accidentales de la capa de aire interpuesta entre las dos electricidades. Así pues, durante la aparicion de las auroras hay en la Tierra dos corrientes que van de los polos al ecuador; pero si no sobreviene la descarga más que en uno de los polos, por ejemplo en el austral, ya no hay en el hemisferio boreal corriente dirigida de norte á sur, sino de éste á aquél, aunque más débil. Este cambio ocasiona en la aguja de la brújula una declinacion oriental, en lugar de la declinacion occidental que experimentaba cuando la descarga tenia efecto en el polo boreal, dirigiéndose la corriente de norte á sur.»

M. de la Rive halla una confirmacion de este modo de ver en las variaciones de direccion y de intensidad que se han observado en las corrientes trasmitidas por los hilos telegráficos durante las auroras. Los señores Walker y Loomis que han hecho en Inglaterra y en América respectivamente un estudio particular de dichas corrientes, han visto que no tan sólo varian de intensidad, sino tambien de direccion, caminando alternativamente de norte á sur y de sur á norte. Estas variaciones concuerdan, segun ellos, con las que se advierten en la luz de las auroras, ya por lo que respecta á su brillo, como á sus perpetuas oscilaciones.

De la Rive hizo un interesante experimento con el cual trató de reproducir el fenómeno natural de las auroras en sus principales circunstancias. El aparato que ideó con tal objeto se compone de una esfera de madera de 30 á 35 centímetros de diámetro que representa la Tierra (fig. 38), y que en los extremos de su diámetro horizontal lleva dos espigas A P, A′ P′ de hierro dulce, de 8 á 10 centímetros de longitud y de 3 á 4 de diámetro. Estas espigas descansan en dos cilindros verticales de hierro dulce B B′, que sirven tambien de soporte á la esfera. Se pueden imantar los dos cilindros y por consecuencia las espigas de hierro dulce en que remata el eje horizontal de la esfera, bien rodeándolas de una hélice atravesada por una corriente eléctrica, ó bien poniéndolas, como se ve en el grabado, sobre los dos polos de un electro-iman C C′. Cada una de las espigas de hierro dulce va metida en un cilindro de cristal de 16 centímetros de diámetro y de 20 de longitud, cuyo eje ocupan hasta la mitad. Dos tapaderas metálicas cierran herméticamente los cilindros de cristal, estando atravesada una de ellas en su centro por la espiga de hierro dulce, y llevando la otra interiormente,

por medio de dos brazos metálicos, un anillo *c c, c′ c′*, metálico tambien, que tiene su centro en el eje horizontal de la esfera, en el punto extremo de la espiga de hierro dulce que lo prolonga. Merced á dos llaves R R′ se puede hacer el vacío en los cilindros de cristal é introducir en ellos diferentes gases.

Para poner el aparato en accion, se rodea la bola de madera con dos fuertes tiras de papel secante, pegándolas á ella, una E E alrededor

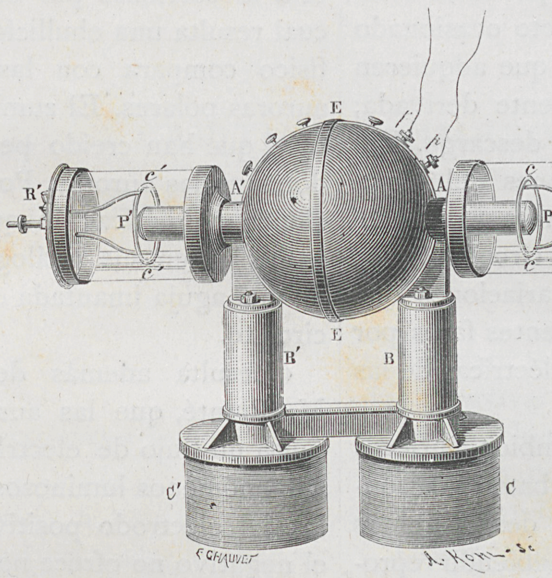


Fig. 38.—Aparato de la Rive para demostrar su teoría de las auroras polares

de su ecuador, y otra A E A′ de uno á otro polo. Esta se cruza con la primera y tiene sus extremos en contacto, en A y A′, con las espigas de hierro dulce. Fíjanse con tornillos á la segunda tira una serie de plaquitas de cobre *ppp*, situadas á iguales distancias en el mismo meridiano. Con el hilo de un galvanómetro colocado á 10 ó 12 metros de distancia se establece una comunicacion metálica entre dos de dichas placas consecutivas. «Dispuesto así el aparato, se humedecen con agua salada las tiras de papel secante; y luégo se pone en comunicacion la tira ecuatorial con el electrodo negativo de una bobina Ruhmkorff, cuyo electrodo positivo comunica por un conductor que se bifurca, con los dos anillos metálicos situados en el interior de los cilindros de cristal en los cuales el aire está muy enrarecido. Al punto se ve partir la descarga en forma de chorro luminoso entre el anillo y el extremo de la espiga de hierro dulce; pero esta chispa estalla tan pronto en uno como en otro cilindro, y rara vez en ambos á un tiempo, aunque los dos medios estén en circunstancias perfectamente idénticas en la apariencia.

»Tan luégo como se imantan los hierros dulces, dice de la Rive, el penacho luminoso se ensancha y forma alrededor de la espiga central un arco animado de un movimiento de rotacion cuyo sentido depende de la imantacion. Debe tenerse en cuenta un punto importante, y es que si el aire no está muy enrarecido, se ve en el momento en que comienza la rotacion al imantarse la espiga de hierro dulce, que el chorro de luz no tan sólo se abre en forma de arco sino que vibra rayos brillantes que, perfectamente distintos entre sí, giran como los de una rueda con mayor ó menor rapidez. Con esto se tiene una apariencia exacta de lo que ocurre en las auroras boreales, cuando los arcos aurorales, animados de un movimiento de rotacion de oeste á este, lanzan chorros luminosos á las altas regiones de la atmósfera. Estos chorros sólo se producen cuando el hierro dulce está imantado y acompañan al movimiento de rotacion; se los puede producir, si el aire está demasiado enrarecido, introduciendo en él gota á gota un líquido evaporable, por ejemplo agua que se evapora inmediatamente.»

«Si consideramos ahora el galvanómetro, al cual van á parar los dos hilos que parten de dos placas próximas situadas en la tira de papel secante humedecida que, segun hemos di-

cho, va á su vez, como un meridiano, de un polo á otro polo, observamos una corriente derivada cuya direccion é intensidad varían segun que la descarga ocurra en el polo que pertenece al hemisferio en que están colocadas las placas ó en el otro. Tambien podemos estudiar clara y distintamente el efecto ocasionado por las polaridades secundarias que adquieren estas placas al trasmitir la corriente derivada; para lo cual basta impedir toda descarga. Variando de este modo las condiciones del experimento, se pueden reproducir en la marcha de los galvanómetros situados en el circuito de los hilos telegráficos las mismas variaciones que acompañan fielmente á las diferentes fases por las cuales pasan las descargas eléctricas de las auroras boreales y australes.»

Gaston Planté ha hecho tambien curiosos experimentos con las poderosas baterías secundarias inventadas por él y que describiremos en el Libro II de este volúmen, habiendo reproducido varios de los efectos luminosos de las auroras. Estos experimentos le han sugerido una teoría que difiere en muchos puntos de la adoptada por de la Rive. Digamos algo acerca de ella.

Hé aquí, segun M. Planté, en qué consisten los experimentos en cuestion. «Si se pone el electrodo positivo de la poderosa batería secundaria de que hago uso en contacto con las paredes húmedas de una vasija llena de agua salada en la que se ha introducido de antemano el electrodo negativo, se observa, segun la mayor ó menor distancia del líquido, ó una corona formada de partículas luminosas dispuestas en círculo alrededor del electrodo ó un arco orlado de una franja de rayos brillantes ó bien una línea sinuosa que se plega y replega sobre sí misma con rapidez. Este movimiento ondulatorio, en particular, presenta gran analogía con el que se ha comparado en las auroras con los repliegues de una serpiente ó con un cortinaje agitado por el viento.»

La luz es amarilla á causa del agua salada, pero se observan en ella tintas purpúreas y violadas, allí donde el agua procedente del vapor condensado está ménos cargada de sal.

Segun Planté, el segmento oscuro de las auroras tiene su análogo en el segmento húmedo que rodea al electrodo y en torno del cual se dilata el arco voltaico. Cuanto más penetra este electrodo en el líquido tanto más agitada está la corriente por el flujo eléctrico, de lo cual resulta una ebullicion luminosa que dicho físico compara con las fluctuaciones de las auroras polares. El zumbido que se nota explica el que han creido percibir ciertos observadores en las auroras. Por último, las perturbaciones magnéticas de que van estas acompañadas tienen sus análogas en las agitaciones de una aguja imantada que se coloca cerca del circuito.

«Resulta además de estos hechos, dice M. Planté, que las auroras deben tener por causa un flujo de electricidad *positiva;* porque los fenómenos luminosos son los mismos que los del electrodo positivo en el voltámetro, y el negativo no ofrece nada semejante.» Así lo admite tambien M. de la Rive; pero las auroras polares ¿son como se supone una descarga entre la electricidad positiva de la atmósfera y la de la Tierra supuesta negativa? No es tal la opinion de Planté, el cual piensa, por el contrario, que la electricidad positiva marcha hácia los espacios planetarios y no hácia el suelo, al través de las brumas ó de las nubes heladas que flotan sobre los polos. Finalmente, no considera las regiones ecuatoriales como el manantial en que se produce la electricidad positiva que se supone acumulada en los polos, «sino que debe proceder de una carga primitiva ó provision de electricidad propia de la Tierra misma, adquirida por ella en el orígen de su formacion y que tenderá á disiparse, lo propio que el calor que posee, con extraordinaria lentitud en razon de su masa considerable.»

Tales son las teorías propuestas para explicar el magnífico fenómeno de las auroras, y tales los ingeniosos experimentos con los cuales se ha procurado reproducir las circunstancias que las acompañan. Nosotros nos limitamos á exponerlas, dejando á los físicos la tarea de discutirlas y de juzgar del fundamento que puedan tener.

LIBRO SEGUNDO

LA ELECTRICIDAD

CAPÍTULO PRIMERO

FENOMENOS GENERALES DE LA ELECTRICIDAD

I

ATRACCIONES Y REPULSIONES ELÉCTRICAS

Un pedazo de succino ó ámbar amarillo, ligeramente frotado con un paño, atrae cuerpecillos leves, como briznas de paja, barbas de pluma, fragmentos de corcho, de médula de saúco, de papel, etc., viéndose cómo se precipitan estos cuerpos hácia los puntos de la superficie del ámbar que ha sufrido la friccion, cual si los empujara una fuerza misteriosa. Este hecho, conocido desde la más remota antigüedad, si es cierto que Thales de Mileto, que vivió 600 años ántes de la era vulgar, hace mencion de él, es el punto de partida de la ciencia de la *Electricidad*. Pero la propiedad del ámbar, así como la del iman, ha seguido siendo por espacio de dos mil años una simple curiosidad, una singularidad de la naturaleza; y hasta Guillermo Gilbert (1600), á nadie se le habia ocurrido convertirla en objeto de estudio, ni de observacion continuada y metódica. Dícese, sin embargo, que algunos autores antiguos notaron la misma virtud atractiva en el azabache, y tambien en una sustancia sobre cuya naturaleza no se está de acuerdo, que los antiguos llamaban *lyncurium*, y que si no es una variedad de ámbar, es sin duda una turmalina (1). No debemos pues acudir á los antiguos para tener la explicacion de esta propiedad atractiva. Dícese que Thales atribuia alma al succino, lo mismo que la suponia en el iman. Plinio el naturalista se limita á decir que «el frotamiento da al ámbar calor y vida.»

Gilbert, á quien la ciencia es deudora, segun hemos visto en el Libro I, del descubrimiento de muchas de las propiedades del iman, reconoció hácia el año 1600 en el vidrio, en el azufre, en la resina y en varias piedras preciosas la propiedad atractiva del ámbar. Desde aquella época, muchos físicos ampliaron los descubrimientos de Gilbert, haciendo patentes una porcion de fenómenos curiosísimos, hasta entónces completamente ignorados, y contribuyeron así á fundar esa rama de la física que con el nombre de *Electricidad*, ha adquirido en nuestros dias tanta extension é importancia. La palabra *electricidad* designa más en particular la causa, hoy todavía desconocida, de los fenómenos que vamos á describir; palabra derivada de *electron*, nombre griego del ámbar amarillo (2).

Es sumamente fácil producir los fenómenos de atraccion de que acabamos de hablar. Se coge una barrita de ámbar, de resina ó de vidrio, y se la frota viva pero ligeramente con un pedazo de paño: si se aproxima entónces á las partes frotadas pajitas ó pedacitos de papel á unos cuantos centímetros de la barra, se verá

(1) «Diocles y Teofrasto atribuyen al *lyncurium* las mismas propiedades atractivas que al succino,» dice Th. H. Martin en su obra *El Rayo, la Electricidad y el Magnetismo en la antigüedad*. «Solin y Prisciano, al hablar de las islas Británicas, atribuyen estas mismas propiedades al azabache *(gagates)* que segun ellos es un objeto precioso que se encuentra en dichas islas.» *(Ibid.)*

(2) El ámbar amarillo ó succino es una especie de resina fósil que se encuentra en gran abundancia en las costas del mar Báltico. A causa de la belleza de su color y de su trasparencia, se le usó por espacio de mucho tiempo como objeto de ornamento en los prendidos y en las joyas de lujo.

cómo se acercan estos fragmentos á la superficie del ámbar ó del cristal, poco más ó ménos como las limaduras de hierro se precipitan sobre el iman; cuando ha habido contacto, algunos de ellos se quedan adheridos á la barra; para otros la atraccion se convierte en repulsion, y los cuerpos leves se retiran. Cuando se pasa la barra frotada á corta distancia del rostro, se experimenta una sensacion parecida á la que causa el roce de una telaraña. Si la barra de resina es un poco voluminosa y el frotamiento enérgico y prolongado, al acercar el dedo hasta tocarla casi se oirá un chasquido seco; y en la oscuridad se verá brotar una

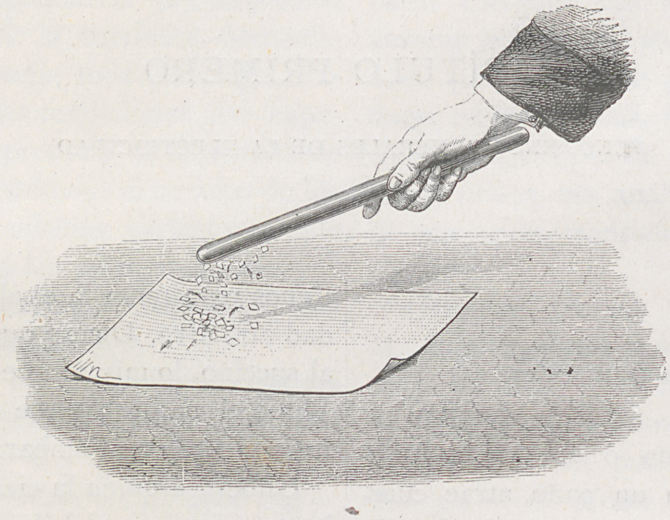


Fig. 39.—Atraccion de los cuerpos leves.

chispa entre el dedo y la parte más próxima de la barra. Todos estos fenómenos cesan si se pasa la mano por las partes frotadas.

Dicen que un cuerpo está *electrizado* cuando en cualquier grado manifiesta las propiedades indicadas en estos experimentos; y en *estado natural* cuando no da señal alguna de atraccion ni de repulsion.

Sentadas estas definiciones, ocupémonos ya, por el órden con que se han descubierto, de los principales fenómenos eléctricos, insistiendo en las circunstancias de su modo de producirse y entrando en algunos detalles históricos sobre el descubrimiento de cada uno de ellos.

Gilbert no conoció el fenómeno de la repulsion eléctrica que tan fácilmente se observa tan luégo como hay contacto entre el cuerpo electrizado y el cuerpo leve al cual atrae primeramente (1), ni la reciprocidad de la atraccion entre el cuerpo frotado y el que ha servido para la friccion. Esto es tanto más chocante cuanto que para el estudio de estos fenómenos se valia de agujas suspendidas sobre un eje como las imantadas. Si hubiera suspendido del mismo modo una varilla de vidrio ó de azufre frotada de antemano, habria reconocido la reciprocidad de la atraccion, como se hace para comprobar que el hierro dulce atrae al iman. Pero Gilbert aumentó en demasía la lista de los cuerpos susceptibles de electrizarse por frotamiento, como el ámbar; á los que ya hemos mencionado, agregó la goma laca, la sal gema, el alumbre y el cristal de roca. Reconoció tambien que la atraccion eléctrica no actuaba solamente sobre fragmentos de cuerpos leves, sino tambien sobre cualesquiera sólidos, sobre gotitas líquidas, y sobre materias gaseosas, como densas humaredas. Por último, reconoció la influencia del estado atmosférico en los fenómenos eléctricos; que son mucho más marcados cuando reinan vientos secos de la region nordeste en Europa, que cuando soplan vientos húmedos del sur y del oeste.

Boyle descubrió la reciprocidad de atraccion de los cuerpos no electrizados por los que lo están. Un sencillísimo experimento pone de manifiesto esta reciprocidad, que no es otra cosa sino un caso particular del principio de

(1) La forma de los cuerpos atraidos influye en el fenómeno. Si se tiene cuidado de emplear granitos redondos ó discos, es decir, cuerpos cuya superficie no tenga ningun ángulo saliente, ninguna punta, ocurrirá la repulsion inmediatamente despues del contacto. Si, por el contrario, los fragmentos son angulosos, si se trata de barbas de pluma, de papelitos recortados en punta, no hay repulsion. Más adelante veremos la razon de esta diferencia en el modo de ocurrir el fenómeno.

mecánica que establece que toda accion va forzosamente acompañada de una repulsion. Sobre un eje vertical se coloca una agujita de goma laca, y se la electriza frotándola con una piel de gato. Acercando el dedo á cierta distancia de uno de sus extremos, se atrae y desvia la aguja. Otto de Guericke, que inventó la primera máquina eléctrica de frotamiento, fué tambien el primero que observó los fenómenos de repulsion y que hizo brotar del globo de azufre de sus máquinas chispas acompañadas de un chasquido seco que constituia el ruido de la descarga eléctrica. No cabe duda de que mediaba todavía gran distancia entre estas modestas experiencias y la produccion de las vivísimas luces que forman el arco voltaico, el más poderoso de todos los procedimientos artificiales de alumbrado. Los experimentos del célebre burgomaestre de Magdeburgo datan de mediados del siglo XVII. A principios del XVIII, en que debian hacerse tan brillantes descubrimientos en electricidad, el físico inglés Wall logró producir chispas más intensas y chasquidos más fuertes; habiendo presentido el gran descubrimiento que hizo famoso á Franklin. «Esta luz y este chasquido, dice, son en cierto modo la representacion del relámpago y del trueno.» La analogía era en efecto sorprendente, y no pasó mucho tiempo sin que se viera demostrada y confirmada.

Además de interesantes experimentos sobre la luz producida en el vacío ó en un medio enrarecido cuando se introducen en él cuerpos y se desarrolla en su superficie la electricidad por frotamiento, ó cuando se frota exteriormente el globo de vidrio en cuyo interior se hace el vacío, débense al físico Hauksbee muchas observaciones de fenómenos eléctricos, y en especial la de la influencia que tiene el calor en el desarrollo de la fuerza atractiva ó repulsiva, habiendo visto que las atracciones y las repulsiones de pedazos de laton por un tubo de vidrio fuertemente frotado con papel eran tanto más enérgicas cuanto más caliente se ponia el tubo de resultas de la friccion. Los experimentos del propio Hauksbee, de Dufay y de Gray pusieron tambien fuera de duda la influencia de la humedad del aire y la de su temperatura, reconocidas ya por Gilbert. En los *Experimentos físico-mecánicos* del primero se lee lo siguiente:

«Cuando á consecuencia de una friccion violenta se ha puesto el tubo á un grado de calor muy considerable, la fuerza de los *effluvia* es sensible al tacto, y entónces no tan sólo producen de un modo notable todos los efectos de que hemos hablado (los movimientos de atraccion y repulsion), sino que se puede notar su accion en el rostro ó en cualquier otra parte delicada del cuerpo, cuando se acerca á ella el tubo frotado. Parece entónces como si esos *effluvia* descargasen golpecitos en la piel, y que producen en ella una sensacion semejante á la que excitarian si se pasara por la piel algunos cabellos finos y flexibles.»

Ya hemos dicho que se ha comparado la sensacion mencionada por Hauksbee con la impresion causada por una telaraña, ó un fino plumon ó un velloncito de algodon en rama.

II

CONDUCTIBILIDAD ELÉCTRICA

Los experimentos de que nos hemos ocupado en el artículo anterior parecen probar desde luégo que se deben dividir los cuerpos en dos clases, segun que sean ó no susceptibles de electrizarse por frotamiento. Cierto es que la primera clase, reducida primeramente al ámbar y al azabache, y luégo al azufre, etc., comprendió en breve un crecido número de sustancias; pero otras, mucho más numerosas, resistieron largo tiempo á las tentativas de los físicos para descubrir en ellas indicios de la propiedad eléctrica, y cuando se sometia al frotamiento á los metales, á las piedras, á la mayor parte de las materias vegetales y animales, y en especial al cuerpo humano, no presentaban los mismos fenómenos de atraccion ó repulsion que los cuerpos de la primera clase. Así fué que se dió el nombre de *idio-eléctricos* á estos últimos; y el de *aneléctricos* á los que no se habia podido electrizar por frotamiento. Esta distincion pareció tanto más natural cuanto que presentaba sorprendente analogía entre los fenómenos del magnetismo y los de la electricidad, y que correspondia á la division de los cuerpos en *magnéticos* y *no magnéticos*, segun que son ó no susceptibles de imantacion, ya temporal ó ya permanente.

Pero el descubrimiento de la *conductibilidad*

eléctrica, hecho á principios del siglo XVIII por Stephen Gray, demostrando la causa de la diferencia que existe entre las dos clases de sustancias, allanó el camino para la averiguacion de una verdad general, á saber, que todos los cuerpos sin excepcion son susceptibles de electrizarse, y que la diferencia indicada en un principio dependia únicamente de las condiciones particulares en que se habian efectuado los experimentos.

Describamos rápidamente las circunstancias que condujeron á Gray á hacer tan importante descubrimiento.

Habiendo electrizado del modo ordinario un tubo de cristal tapado en sus dos extremos con tapones de corcho, observó con sorpresa que el corcho, que no habia sido frotado, atraia y luégo rechazaba los cuerpos leves, como lo hacia el mismo tubo. Por consiguiente, la virtud eléctrica se habia comunicado del vidrio al corcho. Gray prosiguió el experimento, añadió á los tapones varillas de marfil, de madera, de metal, y siempre advirtió los mismos fenómenos en el extremo de estas varillas que remataban en una bola de marfil. Suspendida esta á la parte exterior de un balcon de un largo cordel enrollado al tubo, se electrizó tambien. Varió estos experimentos de diferentes modos y pudo comprobar que la virtud eléctrica se comunica á distancias cada vez mayores, habiéndola notado en el extremo de una cuerda de 765 piés de largo. Mas para que saliera bien la prueba, observó Gray que era preciso llenar ciertas condiciones: la cuerda que trasmitia la electricidad debia estar colgada de cordones de seda, pues no presentaba indicio alguno de electrizacion si reemplazaba la seda con hilos metálicos. Un postrer experimento de Gray que se repitió muy en breve en todos los gabinetes de física, probándole que el cuerpo humano conduce la electricidad, nos explica la imposibilidad en que hasta entónces se habia estado de electrizar toda una serie de cuerpos, por ejemplo, los metales.

Habiendo suspendido de cuerdas de crin un niño, y tocádole en seguida con su tubo electrizado, vió que todas las partes del cuerpo del muchacho, sus manos, su rostro y hasta su ropa, habian adquirido la propiedad de atraer y de repeler en seguida los cuerpos leves que se le acercaban. Lo propio sucedia cuando en lugar de suspender de cuerdas al niño, se le ponia sobre un taburete formado de una sustancia *idio-eléctrica* (segun la expresion de la época), por ejemplo, si sus piés descansaban en una torta ó disco de resina.

De estos experimentos, que los físicos variaron en seguida de todos modos, resultaban dos hechos de la mayor importancia: primero, que la electricidad desarrollada por frotamiento puede trasmitirse á lo léjos, con tal que los cuerpos intermedios encargados de la trasmision pertenecieran al número de los que no se podia electrizar, cuando se los tenia en la mano al frotarlos; el segundo hecho, correlativo del primero, consiste en que la trasmision no se efectúa ó se efectúa difícilmente por medio de los cuerpos que se habia logrado electrizar directamente por los procedimientos hasta entónces adoptados.

Dedújose de esto ante todo que se puede dividir los cuerpos en dos clases ó categorías, segun que son aptos ó no para trasmitir ó conducir la electricidad á lo léjos. La primera clase fué la de los *conductores;* la segunda la de los *no conductores* ó *aisladores*. Esta última denominacion es relativa á la propiedad que tienen los cuerpos no conductores de oponerse á la pérdida rápida de la electricidad cuando el cuerpo electrizado, que es conductor á su vez, no está en comunicacion con el suelo por medio de un cuerpo no conductor.

El descubrimiento de la *conductibilidad eléctrica* y de las condiciones en que tiene efecto, así como la distincion que motiva y que acabamos de mencionar, produjeron importantes consecuencias que la experiencia justificó muy pronto. Entremos en algunos detalles acerca de este asunto.

Siendo el vidrio, el ámbar, la resina, etc., cuerpos malos conductores, la electricidad no debe desarrollarse sino en las partes frotadas, y así lo comprueba la observacion. Pero si se les toca con la mano, que, como el resto del cuerpo humano, es un buen conductor, la electricidad se esparce por este, del cual pasa al suelo y desaparece, aunque sólo en los puntos en que ha ocurrido el contacto. Por esta razon se comprende que cuando se frota un cilindro metálico no dé señal alguna de electricidad,

pues como los metales son excelentes conductores, si se produce aquella, se difunde instantáneamente por toda la superficie del metal, y pasa al suelo por intermedio del cuerpo del operador. Lo que así lo prueba es que si se



Fig. 40.—Electrizacion de un metal

adapta al cilindro metálico un mango formado por un cuerpo mal conductor, y si se sujeta este mango con una mano miéntras se frota el metal con la otra, este se electriza y adquiere las propiedades que hemos descrito más arriba al reconocerlas en el vidrio, en la resina y en el ámbar. Por esta razon se da el nombre de *aisladoras* á las sustancias que conducen mal la electricidad. Aislando un cuerpo cualquiera, se reconoce que es susceptible de electrizarse por frotamiento.

Se pueden hacer de muchos modos estos experimentos. Una persona puesta sobre un taburete sostenido por piés de vidrio, se electriza cuando se la fricciona con una piel de gato; acercando el dedo á cualquier parte de su cuerpo se pueden sacar de ella chispas, y miéntras dura la electrizacion, experimenta la persona en el rostro la sensacion singular causada al acercarle una barra electrizada.

Hicimos mencion anteriormente del primer experimento, hecho por Gray, que demostró la conductibilidad eléctrica del cuerpo humano. Dufay, físico francés, individuo de la Academia de ciencias, fué quien sacó de él la primera chispa. «Habiéndose suspendido de cordones de seda y héchose electrizar, observó que si cualquier persona acercaba la mano á corta distancia de su rostro, experimentaba un leve dolor parecido al pinchazo de un alfiler, y que la persona que habia acercado la mano sentia la misma impresion; y además que resonaba al mismo tiempo un ligero chasquido y brillaba cierto resplandor en la oscuridad.»

Gray repitió los experimentos de Dufay, reconociendo á su vez que se pueden sacar chispas de otros cuerpos aislados á los que se ha electrizado por el contacto de un tubo de vidrio; si estos cuerpos terminan en punta, se ve en el extremo un cono luminoso acompañado de un leve zumbido. Con tal motivo, repitió Gray la comparacion hecha ya por Wall entre la chispa y el chasquido eléctrico y el relámpago seguido del trueno.

El agua es un cuerpo buen conductor, poseyendo la misma propiedad en estado de vapor. Por esto se debe tener gran cuidado cuando se trata de desarrollar la electricidad en un cuerpo, no tan sólo de aislarle si es buen conductor, sino de enjugar y secar el mango ó los soportes de vidrio, ó cualquier otro aislador. Hé aquí tambien por qué se produce la electricidad más fácilmente cuando el tiempo está seco que si está húmedo; y por esto, la habitacion en que se opera debe haberse secado préviamente todo lo posible, á fin de que el aire que haya en ella contenga muy poco vapor de agua. Para evitar la pérdida de electricidad por los soportes aisladores de vidrio, que son los que se emplean generalmente, se los barniza con una capa de goma laca, cuya superficie no es higrométrica como la del vidrio.

En resúmen, se pueden dividir todas las sustancias, por su órden de conductibilidad, en dos clases, la de los buenos y la de los malos conductores ó aisladores; pero la propiedad conductora tiene en cada una de ellas diferentes grados, de suerte que ninguna sustancia carece en absoluto de ella y que se puede formar una tercera clase, compuesta de los cuerpos cuya conductibilidad es intermedia entre la de los extremos; será la de los cuerpos semi-conductores. En el cuadro siguiente se continúa cierto número de sustancias clasificadas por el órden de su conductibilidad decreciente:

CUERPOS CONDUCTORES

Metales usuales.	Acidos diluidos.	Agua de lluvia.	Sales solubles.
Carbon calcinado.	Disoluciones salinas.	Nieve.	Lienzo.
Grafito.	Agua de mar.	Vegetales vivaces.	Algodon.
Acidos concentrados.	Agua de fuente.	Organos de los animales.	

CUERPOS SEMI-CONDUCTORES

Alcohol.	Vidrio pulverizado.	Madera seca.	Papel.
Eter.	Flor de azufre.	Mármol.	Paja.
			Hielo á 0°

AISLADORES

Oxidos metálicos secos.	Polvo de licópodo.	Vegetales secos.	Mica.
Aceites grasos.	Cautchuc.	Cuero.	Vidrio.
Cenizas vegetales y animales.	Alcanfor.	Pelos.	Agata.
Hielo á — 20°	Resinas.	Plumas.	Cera.
Fósforo.	Porcelana.	Lana.	Azufre.
Cal.	Papel seco.	Seda teñida ó cruda.	Ambar.
Creta.	Pergamino.	Piedras preciosas.	Goma laca.
			Aire y gases secos.

Este cuadro, en el que, segun hemos dicho, están clasificados los diferentes cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos por el órden decreciente de su conductibilidad, demuestra que esta propiedad varía con la naturaleza de las sustancias, pero tambien prueba que depende de otras condiciones, de las que diremos una palabra.

El carbon calcinado y el grafito son buenos conductores; el diamante, que es carbono puro, figura entre los aisladores, y sin embargo químicamente son las mismas sustancias. Igual observacion se puede hacer respecto de la flor de azufre y el azufre sólido, el vidrio pulverizado y entero; de los vegetales vivaces que son conductores, de la madera seca y de los vegetales secos que son medianos ó malos conductores; del agua, que es eminentemente conductora en estado líquido, que pierde parte de su virtud en estado sólido á 0°, y que enfriada á 20° bajo cero, es aisladora.

Así pues, el estado molecular, la mayor ó menor division de los cuerpos, su sequedad ó humedad y por último su temperatura parecen otras tantas condiciones que favorecen ó entorpecen la fácil trasmision de la electricidad al través de la sustancia. Siendo el agua un buen conductor, compréndese, conforme hemos dicho más arriba, que los cuerpos que, perfectamente secos, serian aisladores, no lo son tan luégo como se impregnan de humedad ó se cubren simplemente de una capa invisible de vapor de agua; de aquí la necesidad de tomar las precauciones ya mencionadas para los experimentos de electricidad. El calor ejerce tambien cierta influencia en la conductibilidad, que crece á la par de la temperatura. Calentando el vidrio de una botella, Canton observó que la electricidad pasaba al interior; á la temperatura de 200 grados centígrados, el vidrio, que es uno de los mejores aisladores cuando está seco y á la temperatura ordinaria, se torna tan buen conductor como los metales. Lo propio sucede con los vapores y los gases. Poniendo un cuerpo electrizado sobre una lámpara de alcohol que esté en contacto con el suelo, y á uno ó dos metros de la llama, desaparece todo indicio de electricidad, pues la del cuerpo ha ido á parar al suelo por conducto de la columna de aire caliente que flota sobre la llama. Si la lámpara estuviese aislada del suelo, se veria que la llama se electriza y que atrae los cuerpos que se la acercan.

Ahora podemos completar lo que hemos dicho acerca de la facultad que todos los cuerpos, cualquiera que sean, tienen de electrizarse por frotamiento. Por lo que toca á los sólidos, nada tenemos que añadir; la única precaucion que se ha de tomar para que den las señales ordinarias de electrizacion consiste en aislarlos si son conductores. Si se agita mercurio en un tubo de vidrio, se ve cierto resplandor en el interior del vidrio que está electrizado. Lo propio sucede si se disloca bruscamente el nivel del mercurio de un barómetro, ó si se hace la experiencia de la lluvia de mercurio en el vacío.

Luégo veremos que se ha construido una máquina eléctrica en que se desarrolla la electricidad por el frotamiento de chorros de vapor condensado en una tabla de boj. Estos experimentos prueban que el frotamiento de los líquidos contra los sólidos engendra electricidad.

Otro tanto sucede con el de los gases; y una placa de vidrio, un cristal se vuelven eléctricos cuando se dirige á su superficie la corriente de un soplete. No parece dudoso que el mutuo frotamiento de los líquidos ó de los gases los electrice tambien; pero creemos que todavía no se han hecho experimentos directos sobre ello.

III

ATRACCIONES Y REPULSIONES ELÉCTRICAS.—LAS DOS ELECTRICIDADES

Volvamos ahora á los fenómenos de atraccion y repulsion eléctricas, y estudiémoslas con más detalles.

Para ello nos valdremos de un aparato muy sencillo, que lleva el nombre de péndulo eléctrico (fig. 41). Es una esferilla de médula de saúco, suspendida de una hebra de seda, y por consiguiente aislada, puesto que la seda es un cuerpo mal conductor.

Acercando á la esfera un cilindro de resina electrizada, habrá al pronto atraccion segun sabemos; mas tan luégo como se haya efectuado el contacto, la esfera se desviará de la resina; será repelida, áun cuando se acerque á ella de nuevo la barra de resina. En tal estado, la esfera de saúco se halla electrizada, de lo cual

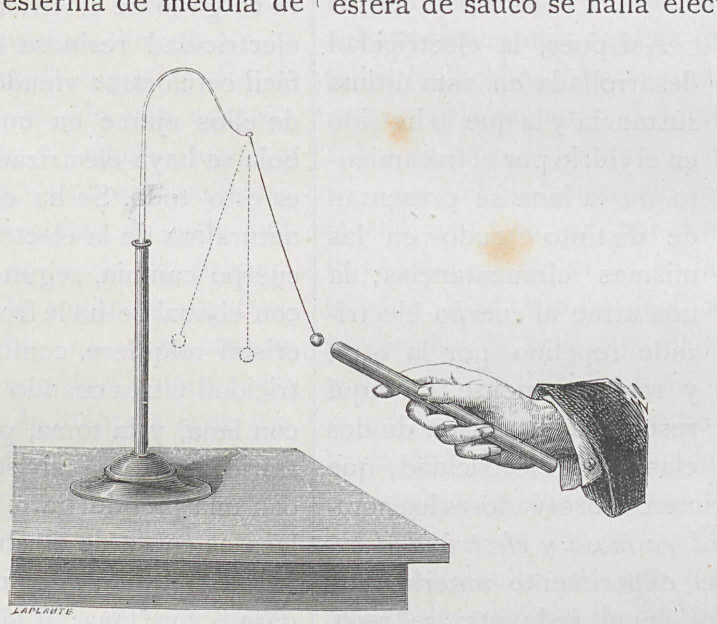


Fig. 41.—Péndulo eléctrico. Fenómenos de atraccion y repulsion

es fácil cerciorarse aproximando á ella el dedo, pues entónces la atrae; ó tocándola con la mano, porque despues de este contacto ni el dedo la atrae ni la barra de resina la repele: la electricidad que tenia ha pasado á tierra por el cuerpo del operador. Si en lugar de una barra de resina, se hiciera uso de un cilindro de vidrio electrizado, se observarán los mismos fenómenos por el órden con que los acabamos de describir; habrá atraccion y contacto, y despues repulsion. Hasta aquí, nada prueba que haya alguna diferencia entre la electricidad desarrollada en la resina y la del cristal, cuando se frotan ambos cuerpos con un paño. Pero supongamos que despues de obtener la repulsion de la bolita de saúco con la resina electrizada, se acerca á ella una barra de vidrio electrizada tambien. Entónces se nota que la bola atrae al vidrio, atraccion que será más viva, si en lugar de haber sido préviamente electrizada por la resina, hubiera continuado en estado natural. Ocurrirá el mismo fenómeno de atraccion, si despues de electrizar la bola con el contacto del vidrio, se le acerca un pedazo de resina electrizada.

Puede hacerse este experimento de un modo que haga más patente el distinto modo de conducirse un cuerpo electrizado segun que se le acerque á la barra de vidrio ó á la de resina electrizadas separadamente frotándolas con un trozo de paño. Para esto se emplean dos péndulos de bola de saúco en lugar de uno solo.

Acércase el cilindro de vidrio á una de estas bolas, la cual es atraida y repelida despues, tan luégo como se ha verificado el contacto. Si se aproxima entónces la resina al primer péndulo y el vidrio al segundo, se observa que de nuevo hay atraccion de las bolas; si en esta segunda parte del experimento se ha tenido cuidado de evitar que haya contacto, fácilmente se reconoce que la atraccion se convierte otra vez en repulsion, volviendo á invertir el órden de las barras acercadas á los péndulos. Se puede asimismo proceder de otro modo, electrizar las dos esferillas de saúco con la misma barra, y acercarlas despues una á otra; siempre se verá

que se repelen mutuamente. Este experimento es todavía más sencillo si se hace uso de un doble péndulo cuyas dos bolas se hayan electrizado al mismo tiempo; al punto se observa cómo se separan y cómo divergen las hebras de seda miéntras las bolas continúan electrizadas. Por el contrario, se atraerán si la primera, electrizada de resultas del contacto con el vidrio, se acerca á la segunda electrizada por la resina (figs. 42 y 43).

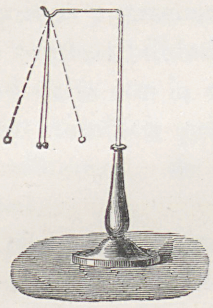


Fig. 42.—Repulsion de los cuerpos cargados de la misma electricidad

Así pues, la electricidad desarrollada en esta última sustancia y la que lo ha sido en el vidrio por el frotamiento de la lana se presentan de distinto modo en las mismas circunstancias; la una atrae al cuerpo electrizado repelido por la otra, y recíprocamente. De aquí resulta la distincion de dos clases de electricidad, que recibieron de los primeros observadores los nombres de *electricidad resinosa* y *electricidad vítrea.* Repitiendo el experimento anterior con ámbar, azufre, cera, papel, seda, etc., se reconoce que estas sustancias obran, unas como la resina, y otras como el vidrio; y entónces se dice que están cargadas de electricidad resinosa ó vítrea.

Dufay hizo en 1733 los primeros experimentos que motivaron la distincion de ambas electricidades, aunque los efectuó en otra forma;

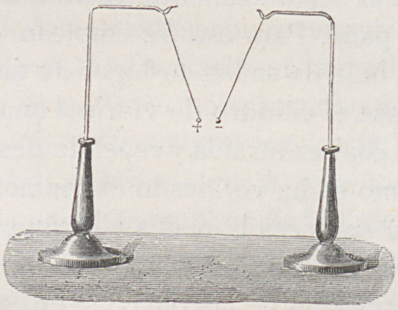


Fig. 43.—Atraccion de los cuerpos cargados de electricidades contrarias

pero las denominaciones que les dió este sabio han sido desechadas hoy, hé aquí porqué. Siendo susceptibles todos los cuerpos de electrizarse por frotamiento segun acabamos de ver, claro está que si uno de los dos cuerpos frotados se electriza, el otro debe electrizarse tambien; y así lo ha confirmado la experiencia. Pero además ha hecho ver que la electricidad desarrollada en uno de los cuerpos no es la misma que la que se desarrolla en el otro. Por ejemplo, si se toman dos discos, el uno de vidrio bruñido y el otro de metal forrado de paño, y provisto cada cual de un mango aislador, y despues de frotarlos uno con otro, se los separa bruscamente, el disco de vidrio resultará cargado de electricidad vítrea y el paño de electricidad resinosa (fig. 44); de lo cual es fácil cerciorarse viendo la accion que cada uno de ellos ejerce en un péndulo eléctrico cuya bola se haya electrizado préviamente. Pero no es esto todo. Se ha observado además que la naturaleza de la electricidad desarrollada en un cuerpo cambia, segun la naturaleza de aquel con el cual se ha le frotado. Así por ejemplo, el cristal adquiere, conforme hemos dicho, electricidad vítrea cuando se le frota con lana, y la toma, por el contrario, resinosa si se le frota con una piel de gato. La goma laca se carga de electricidad resinosa frotándola con una piel de gato ó con lana; y la adquiere vítrea si se emplea al efecto un cristal deslustrado. De conservar las denominaciones de que hasta ahora nos hemos valido, era pues de temer cierta confusion; y por esto se ha sustituido las de electricidad vítrea y resinosa con las de *electricidad positiva* y *negativa.* Por lo demás no se debe atribuir en este momento á estos nombres otra significacion más que la siguiente: la electricidad positiva es la que se desarrolla en el vidrio frotándolo con lana; la negativa es la que se obtiene en la resina frotándola con la misma sustancia. Pero el modo de accion de estas dos especies de electricidades puede resumirse en dos leyes sumamente sencillas:

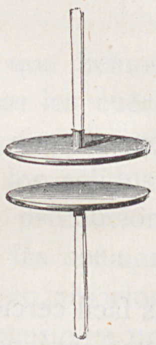


Fig. 44. — Produccion de dos electricidades contrarias por frotacion

Todo cuerpo electrizado, positiva ó negativamente, atrae los cuerpos en estado natural.

Dos cuerpos cargados de electricidades de nombre contrario se atraen; dos cuerpos cargados de electricidades del mismo nombre se repelen.

En estas leyes no hay excepcion; pero las condiciones de produccion de una ú otra espe-

cie de electricidad son en extremo complejas.

Acabamos de ver que la misma sustancia se electriza unas veces positiva y otras negativamente, segun la naturaleza del cuerpo con el cual se la frota. Además, bastan los menores cambios en el estado físico de los cuerpos para modificar el sentido de la electrizacion: las diferencias de color, de pulimento, de temperatura, etc., hacen que los mismos cuerpos frotados de igual modo adquieran tan pronto la electricidad positiva como la negativa. El vidrio reluciente y bruñido frotado con un paño se electriza positivamente; y negativamente si está deslustrado. Æpinus y Canton comprobaron estos resultados. Dos cintas de seda, una blanca y otra negra, adquieren, la primera electricidad positiva, y la segunda negativa, cuando despues de ponerlas una sobre otra, se pasa por la superficie de una de ellas una regla de marfil (1). Dos cintas de idéntica seda frotadas en cruz ó trasversalmente adquieren las dos electricidades contrarias. El vidrio frotado con paño la adquiere positiva, como hemos visto; pero si ántes ha sido frotado con polvos finos de esmeril húmedos, y se le lava luégo, se electriza negativamente con una friccion suave del paño: si ésta es más enérgica, reaparece la electricidad negativa, segun resultó del experimento hecho por Heintz.

La piel de gato, que se consideraba positiva para todos los cuerpos y en especial para el vidrio bruñido, lo es en efecto unas veces, pero otras es negativa, segun que las fricciones se hagan con la parte de la piel que corresponde al cuello ó á las patas, ó con la del lomo. Otras muchas irregularidades se advierten tan raras como difíciles de explicar. Dos discos de vidrio semejantes, frotados uno con otro, se electrizan tan pronto de un modo como de otro. El calor tiene gran influencia en estos casos; la mayoría de las sustancias calentadas adquiere electricidad negativa.

Se ha hecho un gran número de experimentos curiosos sobre las condiciones que dan lugar á uno ú otro modo de electrizacion; pero es muy poco aún lo que se sabe acerca de las causas de estos fenómenos singulares, y las teorías que se han discurrido para explicarlos apénas tienen más ventaja que la de coordinar todos los hechos y hacer que se fijen más fácilmente en la memoria. Lo que se podia prever ántes de todo experimento es que, si se electriza un cuerpo frotándolo con otro, éste debe electrizarse á su vez, por cuanto ambos se influyen del mismo modo en la operacion de la friccion. Nada era tan fácil como comprobar la produccion de la electricidad en el pedazo de paño ó de seda que se tenia en la mano cuando se queria electrizar un tubo de vidrio ó una barra de lacre, puesto que la lana y la seda no son sustancias conductoras. Lo contrario sucedia si el cuerpo que servia para la friccion era buen conductor, porque entónces, á medida que se desarrollaba la electricidad en su superficie, pasaba al suelo por el cuerpo del operador.

Hé aquí por qué, en los experimentos relativos á esta clase de investigaciones, hay que aislar con cuidado los cuerpos que se emplean, cuando son conductores.

De los muchos experimentos que se han hecho sobre varias sustancias, por lo que respecta á la clase de electricidad que desarrolla el frotamiento de una de ellas con otra, se ha podido deducir una clasificacion especial de los cuerpos.

A este fin se forma con ellos una serie ordenada de tal modo que cualquiera de ellos adquiere la electricidad negativa si se le frota con uno de los que le preceden, y la positiva si con uno de los que le siguen. Y en efecto, la experiencia ha demostrado que si una sustancia, la lana por ejemplo, es negativa cuando se la utiliza para frotar vidrio y positiva para frotar resina, estos dos cuerpos, es decir, el vidrio y la resina, frotados uno con otro, adquirirán *à fortiori* electricidades contrarias, el primero positiva y el segundo negativa. Sin embargo,

(1) En el *Tratado de electricidad estática* de M. Mascart se refiere un caso curioso relativo á la electrizacion de la seda, observado por un físico inglés del siglo XVIII. «Symmer habia notado que al quitarse las medias de seda, despedian en la oscuridad chispas luminosas y ligeros chasquidos, fenómenos que eran más intensos cuando llevaba en la misma pierna una media de seda blanca y otra negra. Las medias no presentaban indicio alguno de electricidad miéntras permanecian en la pierna ó reunidas, pero en el momento en que se las separaba, se las veia fuertemente electrizadas, la blanca positiva y la negra negativamente. Cuando se las tenia separadas una de otra á cierta distancia parecian ahuecadas hasta el punto de presentar la forma de la pierna. Si se las acercaba mutuamente, observábase que dos medias del mismo color se repelian hasta formar un ángulo de 30 ó 35 grados, y que otras dos de colores distintos se atraian violentamente.»

en razon de las modificaciones que dejamos indicadas y que cambian el sentido de la electrizacion de las mismas sustancias, no debe atribuirse á la clasificacion de que hablamos una significacion absoluta, y la lista siguiente puede dar lugar, segun las circunstancias de los experimentos, á inversiones en el sentido de la electrizacion de los cuerpos que contiene:

CLASIFICACION DE LOS CUERPOS CON RELACION Á LA CLASE DE LA ELECTRICIDAD DESARROLLADA POR SU FROTACION

Cristal bruñido	Cristal deslustrado	Antimonio
Tejidos de lana	Azufre	Plata
Plumas	Aluminio	Platino
Madera	Plomo	Azogue
Papel	Cadmio. Zinc	Oro. Paladio
Lacre	Hierro. Estaño	Algodon-pólvora
Cera	Cobre. Bismuto	Sulfuro de cobre

CAPÍTULO II

LEYES DE LAS ATRACCIONES Y REPULSIONES ELECTRICAS

I

NEUTRALIZACION DE LAS ELECTRICIDADES CONTRARIAS

Ocupémonos de nuevo del experimento de los dos discos descrito en el artículo anterior, el cual prueba que la electricidad producida por el frotamiento de dos cuerpos de cualquier clase, uno con otro, se distribuye en ambos, pero si uno de ellos adquiere la electricidad que hemos llamado *positiva*, el otro contendrá electricidad *negativa*, de lo cual es fácil cerciorarse acercando separadamente cada disco á la bola de saúco del péndulo eléctrico, préviamente electrizada. En efecto, al paso que el disco que ha comunicado su electricidad á la bola la repele, el otro la atrae.

Ahora pasemos á valuar ó simplemente á comparar las cantidades de electricidad desarrolladas por el frotamiento de cada disco. Para esto, nos valdremos de un péndulo cuya bola esté en estado natural y suspendida de un hilo conductor, de uno de cáñamo por ejemplo. Frotemos los discos uno con otro, pero dejémoslos en contacto y acerquémoslos al péndulo (fig. 45); veremos que la bola permanece inmóvil, y que no resulta ningun efecto, absolutamente como si los discos no estuviesen electrizados. Sin embargo, lo están, porque si los acercamos separadamente al péndulo sin frotarlos por segunda vez, cada cual de ellos atraerá á la bola de saúco (fig. 46).

Así pues, el frotamiento de dos cuerpos, no tan sólo produce dos distintas especies de electricidad, sino que estas electricidades contrarias se reparten en cantidades equivalentes, una en el primer cuerpo y otra en el segundo. Las dos fuerzas, opuestas é iguales, se destruyen si se las hace actuar simultáneamente sobre un mismo punto.

Un antiguo experimento de Æpinus demuestra á la vez la produccion simultánea y la neutralizacion de las dos electricidades. Consiste en echar azufre derretido en el fondo de una vasija metálica provista de un pié aislador. Cuando se enfria el azufre, no se nota señal alguna de electrizacion; pero no sucede lo mismo cuando se quita dicha sustancia con una varilla que se ha metido en ella miéntras estaba todavía líquida. Entónces se ve que la vasija se ha electrizado negativamente y el azufre positivamente. Por último, si se echa de nuevo el azufre en la vasija, vuelve á desaparecer todo indicio de electricidad.

El experimento de Faraday, representado en la fig. 47, demuestra el mismo hecho más sencillamente. Consiste en electrizar una barra de goma laca ó de lacre con una capuchita de seda sostenida por una hebra de lo mismo. Si se acerca á la bola del péndulo eléctrico la barra de lacre con su cubierta, no se advierte señal de electricidad; pero si se aproximan la barra y la capucha cada una de por sí, sobreviene la atraccion y se ve que el lacre está electrizado lo mismo que la seda, si bien las dos electricidades desarrolladas son de nombre contrario.

Tenemos pues demostrada una verdad im-

portante: Las cantidades de electricidad desarrolladas por la frotacion de dos cuerpos entre sí son iguales y de sentido contrario; se equivalen y neutralizan, lo cual justifica las denominaciones adoptadas de *electricidad positiva* para la una y *electricidad negativa* para la otra.

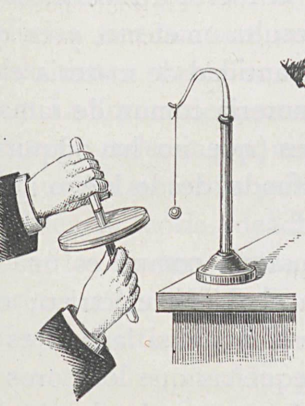


Fig. 45.—Neutralizacion de las electricidades desarrolladas por frotamiento. Primer experimento

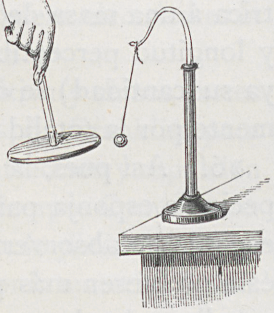


Fig. 46.—Neutralizacion de las electricidades contrarias. Segundo experimento

Esto nos conduce á definir las cantidades de electricidad, ó sea lo que en lenguaje científico se llama *masas eléctricas;* mas antes debemos exponer las teorías adoptadas para explicar los fenómenos eléctricos de que hemos tratado hasta ahora.

II

TEORÍA DE LOS FLÚIDOS ELÉCTRICOS

Los antiguos, que de todos los fenómenos eléctricos sólo conocian la atraccion de los cuerpos leves por el succino, han emitido para explicar este caso único las mismas hipótesis casi que para dar cuenta de las atracciones magnéticas. Por ejemplo, Thales atribuia un alma al succino lo mismo que al iman, es decir, admitia la existencia de una fuerza peculiar de cada una de estas sustancias, idea muy natural bien mirado, pero necesariamente estéril. Hay que pasar á los físicos experimentadores de los siglos XVII y XVIII para encontrar algun bosquejo teórico de cierto interés sobre la naturaleza de la electricidad.

Atribúyese á Gilbert la hipótesis siguiente: el frotamiento, al calentar los cuerpos, suscita la emision de rayos de una materia sutil, untuosa, que se enfria al contacto del aire, y aglutinándose por efecto de este enfriamiento, pierde parte de su fuerza expansiva, vuelve sobre sí misma y arrastra consigo los cuerpos leves que se acercan al electrizado. Esta es tambien, poco más ó ménos la hipótesis enunciada por Boyle, con la diferencia de que éste creia que la reaccion del aire exterior es en parte la causa del retroceso de los efluvios materiales emanados del cuerpo frotado, ó tambien la resistencia del aire sobre el torbellino de materia efluente. Para Hauksbee, las emanaciones de la materia que sale de un cuerpo electrizado «se extiende en forma de radios ó de líneas físicas, y todas las partes que los componen se tocan y continúan de modo que las que están en la misma línea reciben el impulso de las más inmediatas al cuerpo.» De esta suerte el aire contiguo al cuerpo se encuentra enrarecido en la direccion de las líneas divergentes de los *effluvia;* está comprimido en sentido contrario, es decir, siguiendo líneas divergentes, por el aire más

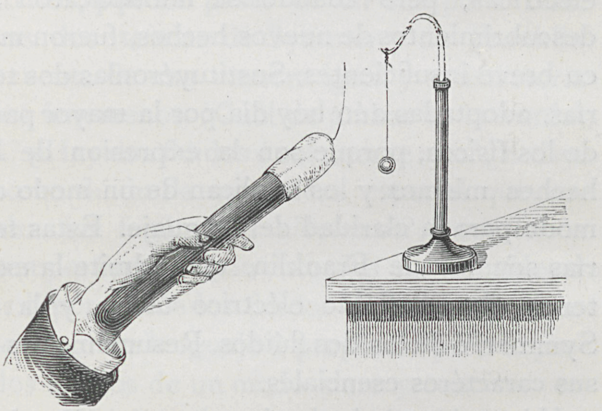


Fig. 47.—Experimento de Faraday

denso y más distante; resultando de aquí el arrastre de los cuerpos leves hácia el electrizado. El abate Nollet consideraba los cuerpos capaces de electrizarse por frotamiento como si estuvieran llenos de una materia que tendiera á escaparse por su superficie exterior; la presion debida al frotamiento, la reaccion de la materia eléctrica y del vidrio en que está contenida, es la que causa su expansion al exterior. «La resistencia del aire en el que con dificultad penetra esta materia, hace que al salir por los poros del vidrio se disemine por decirlo así, y que sus radios divergentes llenen un círculo de mayor ó menor extension segun el grado de actividad del cuerpo eléctrico y del flúido puesto en movimiento por él. Esta materia que sale del cuerpo eléctrico, deja en él vacíos que se

llenan al punto de un flúido de la misma especie que lo rodea. Hé aquí pues la materia eléctrica que se mueve en dos opuestas direcciones y que forma por decirlo así dos corrientes, una de las cuales sale del cuerpo en líneas divergentes, al paso que la otra va á él en direcciones convergentes. Llamemos á la primera *materia efluente*, y á la segunda *materia afluente*. Así pues, si se encuentra un cuerpo leve y libre, en el círculo de actividad cuyo espacio está enteramente lleno de materia afluente y efluente, como uno y otro movimiento son progresivos y las partes animadas por él no son lo suficientemente sutiles para pasar libremente y sin tropezar con el cuerpo flotante, éste obedece forzosamente al más fuerte, y va al cuerpo electrizado ó se aparta de él.»

Hace ya tiempo que se han desechado estas hipótesis; hasta cierto punto bastan para explicar los fenómenos de atraccion y repulsion eléctricas, pero cuando se multiplicaron los descubrimientos de nuevos hechos, fueron muy en breve insuficientes. Sustituyéronlas dos teorías, adoptadas aún hoy dia por la mayor parte de los físicos, porque son la expresion de los hechos mismos y los explican de un modo cómodo para la claridad del lenguaje. Estas teorías son las de Franklin, que admite la existencia de un flúido eléctrico único, y la de Symmer, ó de los dos flúidos. Resumámoslas en sus caractéres esenciales.

Hé aquí en qué términos expone Franklin su opinion sobre la naturaleza de la electricidad:

«1. La materia eléctrica se compone de partículas sumamente sutiles, toda vez que puede atravesar la materia comun, y hasta los metales más densos, con tanta facilidad y libertad que no experimenta resistencia perceptible.

»2. Si álguien pusiese en duda que la materia eléctrica pasa al través de la sustancia de los cuerpos, creyendo que sólo lo hace á lo largo de su superficie, bastaria probablemente para convencerle un choque de una gran vasija electrizada dirigido al través de su propio cuerpo.

»3. La materia eléctrica difiere de la comun, en que las partes de ésta se atraen mutuamente y las de la primera se repelen mutuamente tambien; de aquí la divergencia aparente en una corriente de desprendimientos eléctricos.

»4. Pero aunque las partículas de materia eléctrica se repelan unas á otras, cualquier otra materia las atrae fuertemente.

»5. De estas tres cosas, á saber, la gran sutileza de la materia eléctrica, la mutua repulsion de sus partes, y la fuerte atraccion entre ellas y otra materia resulta un efecto, y es, que cuando se aplica una cantidad de materia eléctrica á una masa de materia comun de tamaño y longitud perceptibles (que no ha adquirido ya su cantidad) se difunde desde luégo igualmente por la totalidad.

»6. Así pues, la materia comun es una especie de esponja para el flúido eléctrico; una esponja no absorveria el agua, si las partes de ésta no fuesen más pequeñas que los poros de aquella; y la absorveria con mucha lentitud si no hubiera una atraccion mutua entre sus partes y las de la esponja, la cual se empaparia más pronto si la atraccion recíproca entre las partes del agua no fuera un obstáculo, por cuanto se debe emplear alguna fuerza para separarlas; por último la imbibicion seria muy rápida si, en lugar de atraccion, hubiera entre las partes del agua repulsion mutua que concurriese con la atraccion de la esponja. Precisamente este es el caso en que se encuentran la materia eléctrica y la comun.

»7. Pero en la materia comun hay (generalmente hablando) tanta materia eléctrica como puede contener en su sustancia. Si se le añade alguna más, el excedente queda en la superficie y forma lo que llamamos una *atmósfera eléctrica* diciéndose entónces que el cuerpo está *electrizado*.

»8. Supónese que no toda clase de materia comun atrae ni retiene la materia eléctrica con igual fuerza y actividad, por las razones que luégo daremos; y que los cuerpos llamados originariamente eléctricos, como el vidrio, etc., la atraen y la retienen con más fuerza, y la contienen en mayor cantidad.

»9. Sabemos que el flúido eléctrico está en la materia comun, porque podemos extraerlo y hacerlo salir por medio del globo ó del tubo (1). Sabemos que la materia comun tiene

(1) Franklin alude aquí á los dos modos de producir la electricidad usados en su tiempo, el frotamiento de un globo da azufre, resina ó vidrio, ó el de un tubo de cristal.

casi tanta como puede contener, porque cuando añadimos alguna más á una porcion cualquiera, esta cantidad añadida no entra en ella, sino que forma una atmósfera eléctrica; y sabemos tambien que la materia comun no tiene más de la que puede contener (generalmente hablando); de lo contrario todas sus partes separadas se repelerian mutuamente, como siempre lo hacen cuando tienen atmósferas eléctricas.

«15. La forma de la atmósfera eléctrica es la del cuerpo rodeada por ella.»

Tal es, en su forma primitiva y en sus partes esenciales, la teoría ideada por Franklin para explicar los fenómenos de atraccion y repulsion eléctricas conocidos en su tiempo. Como se ve, admite la existencia de un solo *flúido eléctrico*, cuyas moléculas, atraidas por la materia comun, se rechazan mutuamente. Los cuerpos en estado natural están cargados de cierta cantidad normal de flúido. Si esta carga aumenta ó disminuye, el cuerpo se electriza; *en más* ó *positivamente*, si la cantidad de flúido ha aumentado; *en ménos* ó *negativamente*, si ha disminuido. Completando esta hipótesis con la ley descubierta por Coulomb y que expondremos en breve, á saber, que las repulsiones y atracciones eléctricas varían en razon inversa del cuadrado de la distancia que media entre dos cuerpos electrizados, se explican los diferentes fenómenos de un modo satisfactorio. Sin embargo; la teoría de Franklin no tiene tantos prosélitos como la de Symmer ó de los dos flúidos, de la que vamos á tratar ahora.

La teoría discurrida por Symmer supone que en lugar de un solo flúido hay dos, de propiedades opuestas. Las moléculas de cada uno de ellos se repelen, pero atraen á las de flúido contrario. En los cuerpos en estado natural ó no electrizados, el flúido eléctrico positivo y el negativo existen en cantidades iguales; á causa de su atraccion mutua, están y subsisten combinados, y entónces se neutralizan. Por medio del frotamiento ó de otros modos de accion que estudiaremos pronto, se logra vencer la afinidad especial en cuya virtud se combinan ambos flúidos; el positivo pasa á uno de los cuerpos y se acumula en la superficie; el negativo pasa al otro, y los dos cuerpos frotados resultan así cargados de electricidades contrarias, si se los mantiene separados; pero si despues del frotamiento, se los deja en contacto, las electricidades desarrolladas se neutralizan.

La atraccion de las moléculas de los flúidos contrarios y la repulsion de las de un mismo flúido explican los fenómenos de atraccion y repulsion mutua de dos cuerpos electrizados; los movimientos de los flúidos dan orígen á los de las moléculas materiales, ya por la presion del medio ambiente en la hipótesis de que los flúidos no ejercieron accion alguna en la materia ponderable, ó bien por la accion directa de aquellos, si se admite que cada flúido atrae las moléculas de esta materia.

Entre la teoría de los dos flúidos eléctricos y la de los magnéticos hay evidente analogía; sin embargo, la separacion de los flúidos que caracteriza á la imantacion, no ocurre sino en las moléculas del cuerpo magnético, y cada una de estas contiene siempre igual cantidad de los flúidos separados. Por el contrario, al separarse los eléctricos, pueden pasar de un cuerpo á otro.

Las dos teorías de Symmer y de Franklin dan cuenta de una manera igual y satisfactoria de los fenómenos. ¿Cuál de ambas es la verdadera? ¿Hay dos flúidos ó solamente uno? ¿Existe acaso un flúido de naturaleza especial que engendra los fenómenos eléctricos? Los físicos contemporáneos están acordes en considerar estas hipótesis de los flúidos únicamente como un artificio de lenguaje ó propósito para expresar los hechos de un modo claro y conciso; en vez de multiplicar las causas de los fenómenos, los atribuyen á una sola; la cual no es otra sino el éter, el vehículo de las ondas luminosas y caloríficas. Hé aquí lo que M. Briot dice acerca de este asunto en su *Teoría mecánica del calor:*

«Si se adopta como más probable la hipótesis de un flúido solo, es natural suponer que este no sea otra cosa sino el éter, cuyas vibraciones sirven para explicar los fenómenos luminosos. Sin embargo, la experiencia enseña que no hay fenómenos eléctricos en el vacío, es decir, donde no hay materia ponderable. Parece resultar de aquí que se debe llamar *flúido eléctrico* contenido en un volúmen dado, no á la cantidad total de éter que este encierra, sino á la suma de las atmósferas de éter que rodean á las moléculas ponderables (1), es decir, al excedente de la

(1) Admitiendo que la accion de la materia ponderable sobre el éter sea atractiva, cada átomo ponderable está rodeado de una atmós-

cantidad total de éter que contiene el volúmen sobre la cantidad que contendria sin la presencia de las moléculas ponderables. Para explicar los fenómenos eléctricos bastará admitir que la materia ponderable atrae al éter en razon inversa del cuadrado de la distancia, y que la accion mutua de las dos atmósferas de éter es proporcional al producto de sus masas, estando tambien en razon inversa del cuadrado de la distancia.»

Aunque la teoría de un solo flúido parece la más probable, la gran mayoría de los físicos continúa valiéndose para la explicacion elemental de los fenómenos de la hipótesis de los dos flúidos, y nosotros nos atendremos al uso general.

III

LEY DE LAS ATRACCIONES Y REPULSIONES ELÉCTRICAS

Sea cualquiera la idea que se forme de la naturaleza de la electricidad, está fuera de toda duda que es una fuerza, por cuanto ocasiona movimientos de atraccion y repulsion. En su consecuencia se ha deseado averiguar cuáles son las leyes de estos movimientos, ó en otros términos, en qué proporcion varían las atracciones y repulsiones eléctricas cuando se hace variar, ya sea la distancia de los cuerpos electrizados frente á frente, ó ya las cantidades de electricidad de que están respectivamente cargados. El ejemplo de Newton cuando descubrió las leyes de la atraccion universal, demostrando que es proporcional á las masas y que varía en razon inversa del cuadrado de la distancia, indujo á los físicos del siglo XVIII á buscar la solucion del problema por lo que atañe á la intensidad de las fuerzas eléctricas. Du Fay, Hauksbee, Muschenbroek, Æpinus y Cavendish hicieron varias tentativas más ó ménos infructuosas en este sentido, hasta que Coulomb dió con la determinacion experimental de las leyes en cuestion del propio modo que habia dado con la de las leyes de las atracciones y repulsiones magnéticas.

Valióse Coulomb con tal objeto de un aparato análogo á la balanza magnética, construido con arreglo á los mismos principios, con idéntica disposicion general, y que sólo difiere de aquella por la naturaleza de los cuerpos puestos en presencia mutua, es decir, por la naturaleza de las fuerzas cuya accion se queria medir. Dicho aparato es la *balanza eléctrica*, representado en la figura 48. El hilo de suspension fijado en el micrómetro del aparato es un hililllo de plata que lleva en su parte inferior una aguja horizontal de goma laca *f*, terminada en uno de sus extremos en una bola conductora ó un pequeño disco vertical de papel dorado *g*, y en el otro

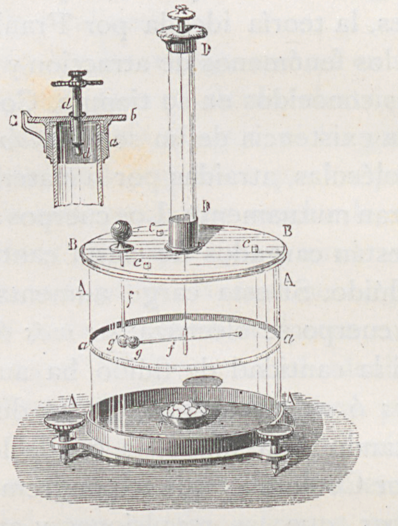


Fig. 48.—Balanza eléctrica de Coulomb

en un contrapeso. El centro del disco está en el plano del círculo graduado del cilindro de cristal que forma la caja de la balanza; otra varilla de goma laca *f'* que termina en una bola conductora *g'* desciende verticalmente en la caja cilíndrica, de modo que el centro de la bola esté en el mismo plano horizontal que el centro del disco *g* y que el plano vertical que contiene la varilla *f'*, y de manera tambien que el hilo de suspension corresponda con el cero de la division del cilindro.

Véase ahora cómo se opera cuando se quiere averiguar la ley de variacion de las acciones eléctricas con la distancia. Empiézase por poner el disco en contacto con la bola sin que haya torsion del hilo, pues la bola *g'* no está aún electrizada. Se saca la varilla *f* y se electriza la bola que la termina, despues de lo cual se la vuelve á meter en la caja. Al ponerse el disco de papel dorado en contacto con la bola, se carga de la misma electricidad que ella, y al punto lo desvia la repulsion á cierta distancia, que se mide por la escala graduada, y que es,

fera de éter cuya densidad es mayor que en el vacío y decrece rápidamente á partir del centro; el excedente de éter acumulado alrededor de cada átomo es la masa de esta atmósfera.

por ejemplo, de 36 grados. Mas al desviarse el disco se ha retorcido el hilo de suspension, y la fuerza de torsion, que se equilibra con la repulsiva, se mide precisamente por el ángulo de 36°, puesto que, segun lo hemos visto ya en la balanza magnética, la fuerza de torsion crece proporcionalmente al ángulo de la misma torsion. Dase entónces vuelta al tambor del micrómetro de modo que el disco vaya á parar á una distancia la mitad menor, es decir, á 18°; viéndose que para esto ha sido preciso hacer que el tambor recorra un ángulo de 126°; así pues la fuerza total de torsion, ó lo que es lo mismo, la repulsion eléctrica que la equilibra, es igual á 126° + 18° = 144°. Para reducir á la cuarta parte ó sea 9° la distancia de la bola y del disco, hay que girar el micrómetro 567° y entónces la repulsion equivale á 567° + 9° = 576° (1).

En resúmen, cuando la distancia de dos cuerpos electrizados varía en la proporcion de los números 1, $1/_2$, $1/_4$ la fuerza eléctrica varía en la de los números 36, 144 y 576, ó en la de los números 1, 4, 16, de donde se sigue esta ley:

Las repulsiones entre dos cuerpos cargados de igual electricidad varían en razon inversa del cuadrado de la distancia.

Demuéstrase la ley de las atracciones mediante un experimento análogo al que acabamos de describir; sólo que al principio es preciso poner la aguja de goma laca de modo que, sin que haya torsion en el hilo conductor, la bola y el disco no electrizados todavía se hallen á cierta distancia entre sí. Entónces se les electriza en sentido contrario, de lo cual resulta una atraccion que acerca el disco á la bola hasta el punto en que la fuerza de torsion consiguiente equilibra la fuerza atractiva. Repítese el experimento variando la distancia y midiendo cada vez el ángulo que se ha de girar el tambor del micrómetro. El resultado es el mismo que para las acciones repulsivas, de suerte que se puede formular la ley en este enunciado general:

Las atracciones y repulsiones eléctricas varían en razon inversa de los cuadrados de las distancias que separan á los cuerpos electrizados.

Coulomb ha comprobado la ley de las acciones eléctricas valiéndose de otro método, el de las oscilaciones, del que ya dijimos algo (p. 19) al describir los experimentos relativos á las

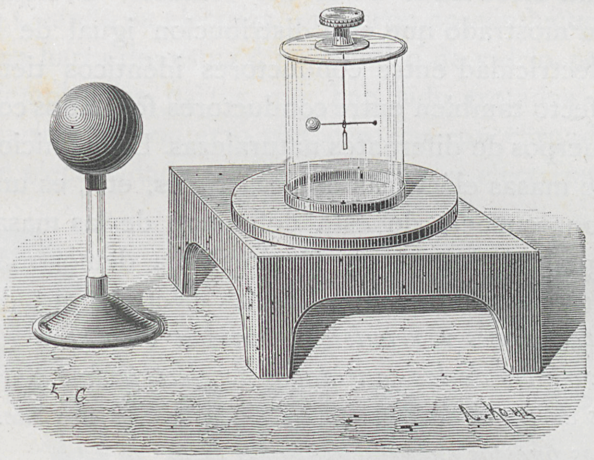


Fig. 49.—Ley de las atracciones eléctricas. Método de las oscilaciones

atracciones y repulsiones magnéticas. Hacia oscilar una aguja de goma laca terminada en un disco de papel dorado, ante una esfera conductora cargada de electricidad, y que alejaba á varias distancias. En seguida contaba el número de oscilaciones efectuadas en un mismo tiempo, y deducia así sus duraciones. De este modo averiguó que las de aquellas son proporcionales á las distancias; pero como las fuerzas están en razon inversa de los cuadrados de estas duraciones, resulta que las acciones eléctricas están en razon inversa de los cuadrados de las distancias.

En todo cuanto precede hemos supuesto que la carga eléctrica de los cuerpos puestos en mutua presencia, cualquiera que fuese, era constante. Falta saber lo que ocurre cuando se hacen variar las cantidades de electricidad libre en los dos cuerpos que ejercen uno sobre otro una accion atractiva ó repulsiva. Mas para esto debemos definir lo que se entiende por *carga* ó *cantidad de electricidad*, ó para conformarnos al lenguaje científico, lo que se entiende por *masa eléctrica*.

Considerando la electricidad como un flúido difundido por todos los cuerpos ó por la superficie de los electrizados, admítese que, si se ponen en contacto dos esferas iguales,

(1) De los experimentos realmente efectuados por Coulomb y por los físicos que han comprobado posteriormente esta ley no resultan cifras tan rigurosamente proporcionales como las mencionadas. Las leves diferencias observadas consisten en que durante los experimentos, las cargas eléctricas de la bola y del disco disminuyen un poco, siendo la causa de esta disminucion la pérdida de la electricidad por el aire y la imperfeccion de las sustancias aisladoras. Coulomb reducia esta causa de error poniendo en la caja de la balanza fragmentos de cal viva ó de cloruro de calcio que absorben la humedad del aire.

idénticas y por consiguiente ambas igualmente conductoras, una de las cuales se haya electrizado de antemano, haya distribucion igual en las dos esferas de la cantidad primitiva de electricidad (1). Sus masas eléctricas son entónces iguales: cada una de ellas no es más que la mitad de la masa eléctrica que contenia la esfera electrizada ántes del contacto. Coulomb ha mostrado que esta distribucion igual de la electricidad entre conductores idénticos tiene efecto tambien entre conductores formados con cuerpos de diferentes naturalezas. La definicion de masas eléctricas dobles, triples, etc., es una consecuencia de esta definicion de las masas iguales. Pues bien, Coulomb ha demostrado prácticamente con la balanza eléctrica que *las atracciones y repulsiones varían en razon del producto de las cantidades de electricidad libre, es decir, de las masas eléctricas de los dos cuerpos puestos en presencia* (2).

Las leyes que acabamos de enunciar no son exactas sino para cuerpos cuyas dimensiones son pequeñas relativamente á las distancias que los separan.

Para que la demostracion práctica de las leyes á que obedecen las acciones eléctricas sea completa y rigorosa, se supone, ó bien que las cantidades de electricidad libre extendidas sean invariables miéntras duran los experimentos, ó que, si varían, se tengan en cuenta estos cambios. En realidad, y segun lo ha comprobado Coulomb, todo cuerpo electrizado sufre con el tiempo una atenuacion progresiva de sus propiedades; la electricidad de que está cargado disminuye y acaba por desaparecer.

La razon de esto es fácil de comprender. Por más que se aisle á los cuerpos electrizados con soportes hechos de materias no conductoras, y por más que el aire que los rodea esté tan perfectamente seco como sea posible, la electricidad se comunica, se difunde merced á estos intermedios por los cuerpos vecinos, y por ellos pasa al depósito comun, que es la tierra.

Y en efecto, al clasificar los cuerpos segun su grado de conductibilidad, hemos visto que no hay sustancia aisladora perfecta. Esta circunstancia ya entraña de por sí una pérdida de electricidad que, á la verdad, es tanto menor cuanto ménos conductora sea la sustancia. La goma laca, y en especial la parda, es el mejor de los cuerpos aisladores, pero se requiere que su superficie esté perfectamente seca, lo cual sólo puede suceder durante un espacio de tiempo limitado, porque dicha superficie es siempre algo higrométrica, el vapor de agua se condensa en ella y la cubre de una capa de humedad que, como nadie ignora, es un buen conductor de la electricidad. Hé aquí por qué ponia Coulomb cal viva ó cloruro de calcio en su balanza, á fin de que el aire contenido en la caja de cristal estuviera siempre seco.

Esto, en cuanto se refiere á la pérdida de electricidad á causa de los soportes.

La de la que se disemina por el aire se puede atribuir tambien á dos causas. En primer lugar los gases tienen conductibilidad propia, muy escasa si están secos, y más fuerte si cargados de humedad, pero que jamás es enteramente nula (3). En segundo lugar, las moléculas de aire inmediatas al cuerpo electrizado son atraidas hasta ponerse en contacto con éste, y luego repelidas á causa de electrizarse por el contacto. Las reemplazan otras, y así la electricidad de los cuerpos se va comunicando poco á poco al aire ambiente, es decir, se atenúa y por último se pierde.

Compréndese pues cuánta es la importancia de las precauciones que se han de tomar para evitar estas causas de error siempre que se trata de experimentos eléctricos un poco deli-

(1) Segun Coulomb, no sólo hay igualdad de distribucion entre dos esferas del mismo radio, sino tambien entre dos cuerpos conductores de cualquier forma. Pero en este caso, es menester poner en contacto dos puntos tales, que haya perfecta simetría á cada lado. Si los cuerpos son medianos conductores, requiérese además que el contacto dure bastante tiempo.

(2) Esta segunda ley seria evidente de por sí si se adoptaran para las masas eléctricas las definiciones de la mecánica general, es decir, si se considerasen las cantidades de electricidad ó las masas eléctricas como proporcionales á las fuerzas; y entónces la consecuencia de los experimentos de Coulomb seria que la distribucion de las electricidades entre conductores iguales ó idénticos ocurre tal y como lo admitia *à priori* este sabio físico.

(3) No es dudoso el hecho de que las máquinas eléctricas funcionan con dificultad en una atmósfera que no está seca, ni de que el aire húmedo favorece la pérdida de electricidad; pero ¿es á consecuencia de la conductibilidad propia del aire húmedo? Así se ha creido y enseñado largo tiempo. Pero de los experimentos hechos de veinte años á esta parte por Du Moncel, luégo por Gaugain y recientemente por Marangoni, resulta que la interpretacion admitida hasta aquí era inexacta. El aire húmedo no es conductor; las pérdidas que se notan, por ejemplo en los hilos telegráficos, reconocen por causa la capa líquida que se forma en la superficie de los alambres y de los aisladores, y no la propagacion directa de la electricidad al través de las capas de aire. (V. el número del periódico *La Luz eléctrica*, del 2 de abril de 1881).

cados, y con mayor motivo si se han de hacer mediciones exactas de las cantidades de electricidad. Con frecuencia se experimentan tambien fracasos que dependen únicamente de haber descuidado las precauciones á que nos referimos. De todos modos, hay que saber tener en cuenta las pérdidas de electricidad, para lo cual se requiere el conocimiento de las leyes de estas pérdidas. Coulomb, y luégo varios físicos contemporáneos, Matteucci, Gaugain, Riess, etc., han estudiado estas leyes. Consignemos los principales resultados de sus observaciones.

Por lo que respecta á los soportes, Coulomb ha visto que se puede aislar perfectamente una bola de saúco de 10 á 12 milímetros de diámetro, sosteniéndola en un cilindro de goma laca de 1 milímetro de diámetro y de 4 á 5 centímetros de longitud. Otro tanto sucede si se la suspende de una hebra de seda muy fina ó de cristal hilado á la lámpara, con la condicion de revestirlos de una capa de goma laca pura haciendo pasar estos hilos por la goma laca hirviente.

La temperatura ejerce gran influencia en la conductibilidad de los cuerpos, por lo cual ciertas sustancias que son aisladoras á la temperatura ordinaria, se vuelven conductoras á medida que esta crece. La turmalina, cuya conductibilidad es nula al principio, nos ofrece un ejemplo de ello, pues la adquiere en alto grado cuando se la calienta á 400 ó 500°, y Gaugain, que ha reconocido este hecho, ha visto que entónces la turmalina se ha vuelto muy higrométrica y que conserva esta propiedad así como la conductibilidad adquirida, aún despues de enfriada. Es menester lavarla en seguida y secarla á ménos de 150° para que vuelva á ser aisladora.

Por lo que hace al aire ó al medio ambiente, Coulomb ha notado que la pérdida eléctrica va creciendo con el grado de humedad de este medio; puesto que es tanto mayor cuanto más considerable la carga ó la tension eléctrica del cuerpo. Segun Matteucci, la pérdida es menor en el aire agitado que en el tranquilo, independiente de la tension entre ciertos límites cuando se opera en un gas seco y puro, de la naturaleza de los gases, y en fin de la electricidad (positiva ó negativa) para tensiones medias. La pérdida aumenta con la temperatura en el aire seco; varía con la presion y es tanto más lenta cuanto más enrarecido está el aire en que se pone el cuerpo electrizado.

IV

DISTRIBUCION DE LA ELECTRICIDAD EN LA SUPERFICIE DE LOS CUERPOS CONDUCTORES

Cuando se electriza un cuerpo no conductor, una barra de resina ó un cilindro de vidrio, por ejemplo, las partes que han sido frotadas ó puestas en contacto con otro cuerpo cargado de electricidad, son las únicas que se electrizan.

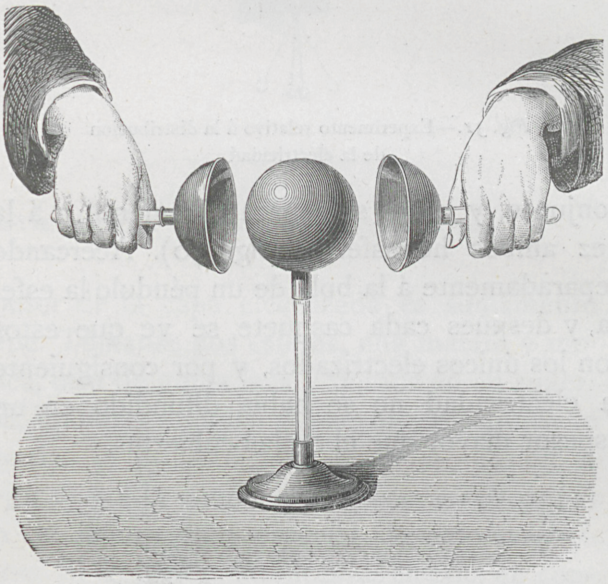


Fig. 50.—Distribucion de la electricidad en la superficie de los cuerpos conductores

El flúido se difunde por el cuerpo lentamente, segun acabamos de ver; pero si se trata de un cuerpo conductor, la difusion es instantánea en toda su extension. Aquí cabe preguntar si la distribucion de la electricidad desarrollada ó comunicada tiene efecto en el interior y en el exterior del cuerpo á la vez, y en qué proporcion se disemina por toda la extension de las porciones electrizadas.

Hemos visto ya que Coulomb, poniendo en contacto dos bolas ó esferas conductoras del mismo diámetro, demostró que la carga eléctrica se distribuye por igual en los dos cuerpos cualesquiera que sean su naturaleza y densidad. Así es que la comunicacion no se efectúa en razon de las masas de los cuerpos. La electricidad no penetra en el interior de estos, sino que queda diseminada por su superficie, como

lo prueban los experimentos que vamos á describir.

En uno de ellos se hace uso de una esfera aislada sobre un pié de cristal y cubierta con dos tenues casquetes hemisféricos que se mantienen en contacto con ella por medio de dos mangos aisladores. Electrízase entónces el

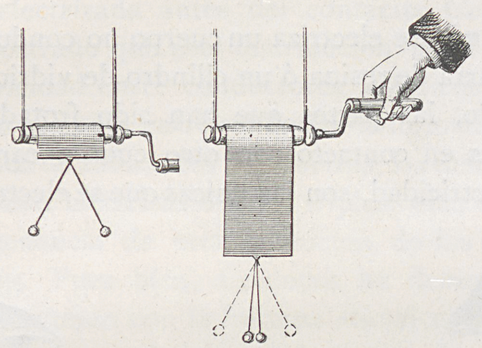


Fig. 51.—Experimento relativo á la distribucion de la electricidad

conjunto, y luégo se separa vivamente y á la vez ambos hemisferios (fig. 50). Acercando separadamente á la bola de un péndulo la esfera, y despues cada casquete, se ve que estos son los únicos electrizados, y por consiguiente la electricidad no se habia difundido en un espesor mayor que el de las cubiertas.

Si se enrolla con un manubrio en un cilindro no conductor, de vidrio por ejemplo, una cinta metálica de estaño ó de hojuela de laton, que se electriza y de la cual se suspenden dos péndulos conductores (fig. 51), vése que estos divergen cuando la cinta continúa enrollada; pero se acercan á medida que, dando vueltas al manubrio, se desenrolla la cinta, lo cual prueba que la tension de la electricidad disminuye en razon de la extension de la superficie siendo la misma la cantidad de electricidad. Otro experimento análogo consiste en poner en el platillo de un electroscopio de hojuelas de oro una cadena metálica á la cual se electriza (fig. 52). Las hojas de oro divergen, y en seguida se acercan si se levanta con una varilla de goma laca la cadena metálica; y en efecto, entónces la superficie electrizada aumenta y la tension de la electricidad disminuye, cosa inexplicable si el flúido penetrara más allá de su superficie.

Cárgase de electricidad una esfera hueca metálica, que lleva un orificio en su parte superior y está aislada sobre un pié (fig. 53). Para reconocer cómo se distribuye aquella, se hace uso de un pequeño disco de papel dorado pro-

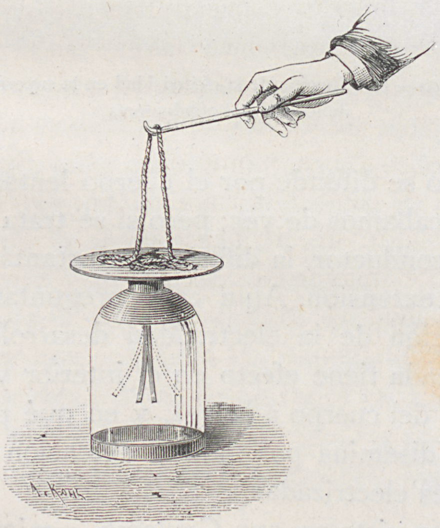


Fig. 52.—Experimento relativo á la distribucion de la electricidad

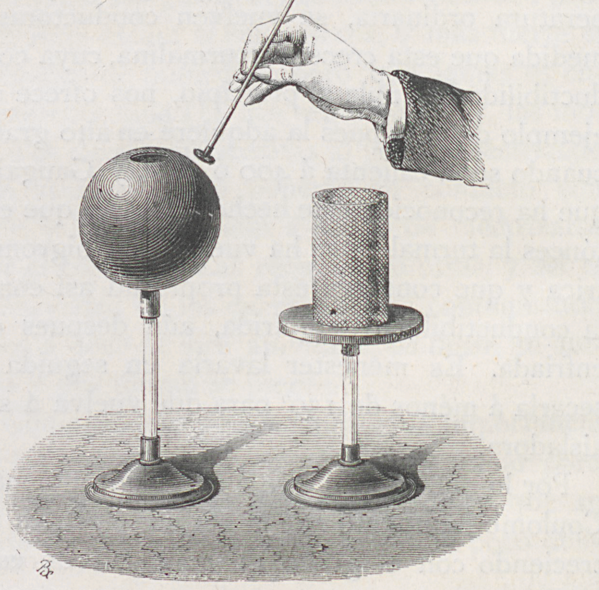


Fig. 53.—Distribucion de la electricidad en la superficie de una esfera hueca, de un vaso metálico

visto de un mango aislador (á lo cual se da el nombre de *plano de prueba*) y se le aplica sobre un punto cualquiera de la superficie exterior de la esfera electrizada, viéndose que atrae la bola de saúco del péndulo eléctrico. Si se toca el plano de prueba con la mano, se escapa la electricidad de que estaba cargado, y vuelve á su estado natural. Si entónces se aplica dicho plano al interior de la esfera, cuidando de que no tropiece con los bordes del orificio, vése que no da señal alguna de electricidad. El resultado seria el mismo, si se empezara por ha-

cer la prueba en el interior de la esfera. Faraday hacia el mismo experimento dando al cuerpo la forma de un cilindro de enrejado metálico (fig. 53) que ponia sobre un disco de laton aislado. Electrizaba el disco y con el plano de prueba comprobaba que únicamente resultaba electrizada la superficie de esta especie de vasija.

El mismo ilustre físico ha ideado el experimento de la bolsa cónica de muselina, adaptada á un aro de metal aislado, al cual se electriza. Con una hebra doble de seda sujeta al vértice del cono se vuelve la bolsa de dentro á fuera, y se ve que la electricidad se difunde siempre por la superficie exterior, de suerte que pasa alternativamente de una cara de la tela á la otra (fig. 54).

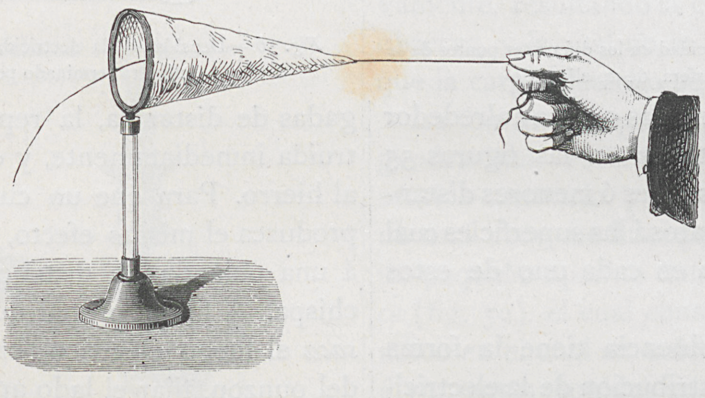


Fig. 54.—Experimento de Faraday que prueba que la electricidad se difunde por la superficie exterior de los cuerpos

Faraday ha demostrado, mediante una serie de curiosos experimentos, la propiedad que tienen las superficies conductoras cerradas de no ejercer influencia alguna eléctrica en los puntos interiores del espacio que rodean. Cubria un electroscopio de hojas de oro con una campana de tela metálica, una jaula de enrejado muy ancho, ó una canastilla, y veia que el electroscopio permanecia enteramente insensible á la accion de un cuerpo electrizado exterior y á la de la cubierta cuando lo electrizaba con las máquinas más poderosas. Aquel físico mandó construir una cámara cúbica de $3^{m},60$ de lado, cuyas paredes caladas cubrió de papel y con un enrejado metálico. Esta especie de jaula estaba aislada, y suspendida á este efecto de cordones de seda, y luégo puesta en comunicacion con una máquina eléctrica. Faraday se metió en ella provisto de electroscopios muy sensibles, y por más que electrizó la cámara hasta el punto de sacar exteriormente grandes chispas y de ver brotar por todos lados penachos luminosos, él no sintió conmocion alguna, ninguna de las impresiones que causa el flúido á toda persona electrizada, y sus electroscopios tampoco dieron señales de electrizacion.

Así pues, la electricidad se difunde por la superficie exterior de los cuerpos conductores; ó por lo ménos, si penetra en el interior, el espesor de la capa electrizada es sumamente tenue. Tómanse dos esferas, una maciza y metálica, otra de goma laca y dorada en su superficie, y ambas de igual diámetro; en seguida se electriza la primera y se mide la tension, ó mejor dicho, la carga, la *densidad eléctrica* (1) con un instrumento especial llamado *electrómetro.* Si se ponen entónces las esferas en contacto, se ve que la tension eléctrica es en cada una de ellas la mitad de lo que era al principio en la esfera metálica. Como en la esfera de goma laca el espesor de la capa eléctrica es igual al de la hoja de oro, dedúcese de aquí que este espesor no es mayor en la esfera maciza.

La densidad eléctrica no es igual en todos los puntos de la superficie de un cuerpo conductor sino en el caso en que este cuerpo sea de forma esférica. Esto se expresa diciendo que el espesor de la capa eléctrica es uniforme en él (figura 55). En un elipsoide alongado, esta capa tiene su máximum en los extremos del eje ma-

(1) M. Mascart hace observar con razon que es preferible emplear aquí la expresion *densidad eléctrica* en vez de la de tension, para indicar «el límite de la relacion de la cantidad de electricidad difundida por una pequeña superficie que comprende el punto considerado, con la extension de esta superficie.» En efecto, la palabra *tension* se usa en electricidad en otros sentidos, por ejemplo, para expresar la presion que ejerce un elemento de la superficie en el medio ambiente, en cuyo caso la tension es proporcional al cuadrado de la densidad eléctrica, tal como acabamos de definirla. Tiene tambien otro sentido, y es cuando se la emplea para caracterizar las corrientes eléctricas.

yor; en uno aplanado, lo tiene en toda la circunferencia del ecuador. En un disco plano, la densidad eléctrica, casi nula en el centro, va creciendo hácia los bordes, en donde alcanza su mayor intensidad. En un conductor que tenga la forma de un cilindro terminado en dos hemisferios, la densidad es mayor en la superficie de estos, y nula ó poco ménos en las demás

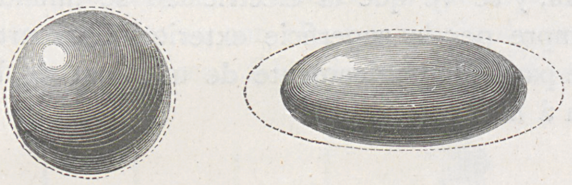


Fig. 55.—Densidad de la electricidad en los diferentes puntos de la superficie de una esfera, de un elipsoide

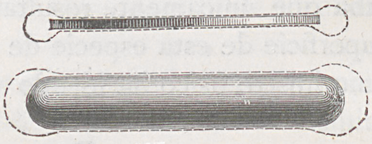


Fig. 56.—Densidad de la electricidad en un disco plano, en un cilindro terminado por dos hemisferios

partes. Las líneas puntuadas que hay alrededor de los sólidos representados en las figuras 55 y 56, indican por sus mayores ó menores distancias á los puntos inmediatos á las superficies cuál es la densidad eléctrica en cada uno de estos puntos.

Vese pues cuánta influencia tiene la forma de los cuerpos en la distribucion de la electricidad en su superficie; pero en ninguna parte es tan marcada esta influencia como en las partes de los cuerpos terminados en aristas, en ángulos agudos, y en puntas cónicas ó piramidales. La electricidad se acumula en estas partes y adquiere suficiente intensidad para difundirse por el medio ambiente, áun cuando no sea buen conductor. Dase á esta propiedad el nombre de *poder de las puntas,* siendo Benjamin Franklin quien la descubrió hace ya más de un siglo (1). Mencionemos el primer experimento que hizo acerca de este punto:

«Póngase, dice, una bola de hierro de tres ó cuatro pulgadas de diámetro sobre la boca de una botella de cristal bien limpia y bien seca; de una hebra de seda fija en el techo precisamente encima del orificio de la botella, suspéndase una bolita de corcho del tamaño de una bala de fusil, debiendo tener la seda la longitud conveniente para que la bola de corcho se detenga al lado de la de hierro; electrícese esta, y el corcho será repelido á cuatro ó cinco pulgadas de distancia, más ó ménos, segun la cantidad de electricidad (fig. 57 *a'*). Si en tal estado se acerca á la bola de hierro la punta de un punzon largo y delgado, á seis ú ocho pulgadas de distancia, la repulsion quedará destruida inmediatamente, y el corcho se acercará al hierro. Para que un cuerpo no puntiagudo produzca el mismo efecto, es preciso acercarlo á una pulgada de distancia y que saque una chispa. A fin de probar que la punta es la que *saca* el fuego eléctrico, basta quitar el mango del punzon, fijar el lado aplanado en una barra de lacre, y en vano se le aproximará á la misma

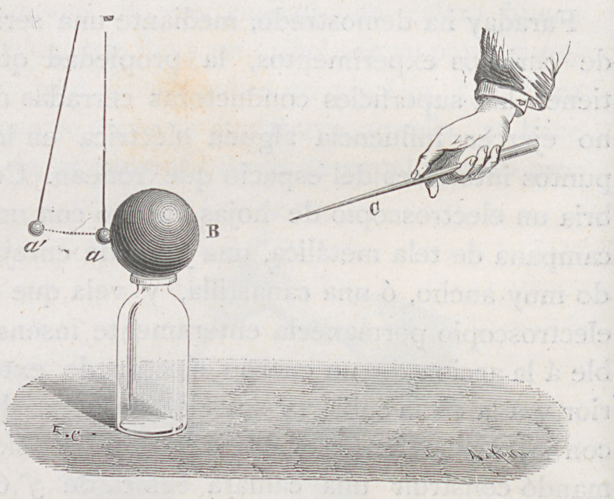


Fig 57.—Experimento de Franklin sobre el poder de las puntas

distancia ó más cerca todavía, porque no se obtendrá ya el mismo efecto. Pero si se corre el dedo á lo largo del lacre hasta tocar el lado plano del punzon, el corcho se precipitará al punto sobre la bola de hierro. Si se acerca la punta en la oscuridad, se verá á veces á un pié de distancia y más aún una luz brillante semejante á un fuego fatuo ó á una luciérnaga (2). Cuanto ménos aguda es la punta, más hay que aproximarla para percibir la luz, y á cualquier distancia que se la vea, se puede *sacar* el fuego eléctrico y destruir la repulsion. Si el tubo re-

(1) En una carta escrita por el célebre físico americano á P. Collinson y fechada el 1.° de setiembre de 1747, describe varios experimentos que tienen por objeto demostrar «el sorprendente efecto de los cuerpos puntiagudos, tanto para *sacar* el fuego eléctrico como para repelerlo.» Basándose en este poder de las puntas, concibió Franklin dos años despues la primera idea de los pararayos.

(2) Cuando la electricidad es fuerte y la punta muy fina, la luz aparece hasta una toesa de distancia.

pele una bola de corcho suspendida como queda dicho, y se le acerca bruscamente la punta, áun á considerable distancia, causará asombro el ver la rapidez con que el corcho se precipita hácia el tubo. Las puntas de madera producirian el mismo efecto que las de hierro, con tal que la madera no estuviese muy seca, porque la que lo esté mucho no es mejor conductora que el lacre.»

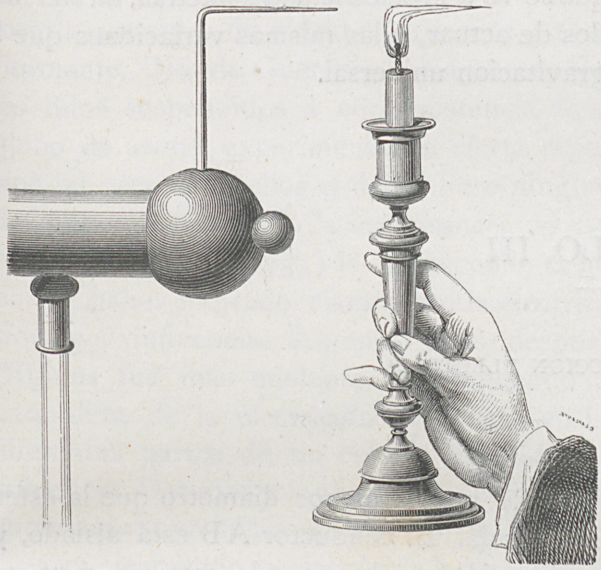


Fig. 58.—Poder de las puntas. Viento eléctrico

Se ha calculado que la electricidad es infinita en el extremo de una punta cónica, de suerte que debe ser imposible cargar de electricidad un cuerpo conductor provisto de semejante apéndice, y así lo confirma la experiencia. A medida que la electricidad se desarrolla, se disemina por el medio ambiente y desaparece. Cuando se examina el extremo de la punta en la oscuridad, vese un penacho luminoso cuya forma y color estudiaremos más adelante. Si miéntras la punta está en comunicacion con el foco eléctrico, se pone la mano delante ó encima de ella, nótase un soplo que indica cierto movimiento continuo de las partículas de aire: movimiento que se hace perceptible aplicando la llama de una bujía á la prolongacion de la punta. El *viento eléctrico* es bastante intenso para hacer que oscile la llama y hasta para apagarla. En un principio se atribuyó esta agitacion del aire en el extremo de las puntas de los conductores á la salida efectiva de la electricidad que se asimilaba á un flúido; pero la explicacion siguiente nos parece preferible, porque no exige hipótesis alguna sobre la naturaleza de la electricidad y por estar además de acuerdo con los fenómenos conocidos. Las moléculas de aire que están en contacto con la punta, electrizada á considerable tension, se cargan de electricidad del mismo nombre que la del conductor. Hay por consiguiente repulsion, y las moléculas, al alejarse, ceden el puesto á otras que se electrizan á su vez, y así sucesivamente, resultando la corriente de aire que se observa, y la cual no es continua sino en tanto que la carga eléctrica se renueva sin cesar.

La fuerza con que la punta repele el aire engendra una reaccion que debe impelerla en sentido contrario, y si no se mueve, es porque no está libre. Se hace patente esta reaccion con un pequeño aparato llamado *torniquete eléctrico* (fig. 59), el cual consiste en un soporte metálico en el cual se coloca una serie de radios divergentes reunidos en el centro por una chapa que permite que se mueva el sistema entero en un plano horizontal. Cada radio está doblado en el mismo sentido. Apénas se carga el conductor sobre el cual está puesto el torniquete, emprende este un movimiento de rotacion en direccion opuesta á la de las puntas.

Hemos dado una idea de los experimentos que condujeron á Coulomb á formular las leyes de las acciones eléctricas, en razon directa de las masas é inversa del cuadrado de las distancias. Esta demostracion experimental es delicada y difícil; por cuidado que se ponga en los experimentos los errores son inevitables y sólo es posible hacer una comprobacion aproximada. Es pues interesante saber que la ley del cuadrado de las distancias se demuestra indirectamente sometiendo al análisis la cuestion de la distribucion de la electricidad en la superficie de los cuerpos conductores. Y en efecto, todos los hechos que acabamos de exponer en este artículo se explican por la hipótesis de la ley del cuadrado de las distancias. Partiendo de ella, y segun lo ha demostrado Newton relativamente á la gravedad, una envolvente esférica electrizada no debe ejercer accion alguna en un

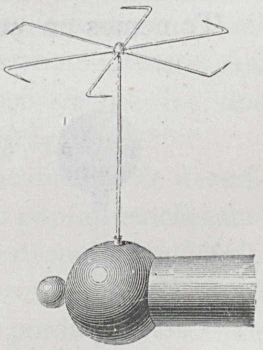


Fig. 59.—Torniquete eléctrico

punto situado en su interior. Así tambien, toda capa esférica uniformemente electrizada en todos sus puntos actúa sobre uno exterior como si todas las acciones repulsivas estuviesen reunidas en su centro. De aquí resulta que, si consideramos una esfera electrizada dividida en capas concéntricas infinitamente tenues, cualquier molécula situada en la superficie de una de ellas no recibirá accion alguna de la electricidad de las capas exteriores, al paso que será repelida por el flúido que puedan contener las internas. Esta molécula tendrá pues que alejarse del centro hasta llegar á la superficie en donde la mantendrá la accion del medio ambiente, dado que sea mal conductor, y así lo comprueba la experiencia. Cualquier otra hipótesis sobre la ley de variacion de las acciones eléctricas con la distancia seria incompatible con la distribucion del flúido en los conductores.

Así queda confirmada la exactitud de esta ley, cuya importancia teórica es tanto mayor cuanto que se ve á la electricidad sometida, en sus modos de actuar, á las mismas variaciones que la gravitacion universal.

CAPÍTULO III

INFLUENCIA O INDUCCION ELECTRICA

I

FENÓMENOS DE INDUCCION ELÉCTRICA.—ELECTRIZACION POR INFLUENCIA

Acabamos de ver que hay dos medios de electrizar un cuerpo, cuando se halla en estado natural; el frotamiento ó el contacto con un cuerpo préviamente electrizado. Los fenómenos que vamos á describir ahora prueban que en este último caso no es necesario el contacto.

Tomemos un cuerpo electrizado C (fig. 59)

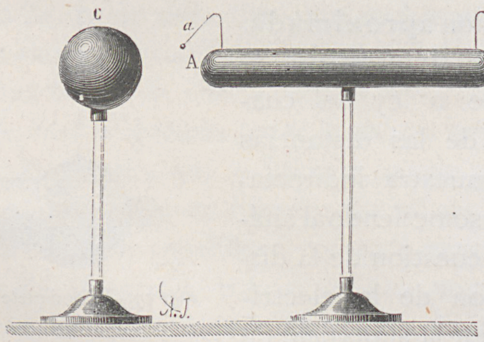


Fig. 59.—Electricidad desarrollada por influencia ó induccion

— que aquí es una esfera metálica puesta sobre una columna de vidrio, — y pongamos cerca de ella, á una distancia suficientemente corta, un conductor cilíndrico AB, de gran longitud y cuyos extremos rematan en casquetes hemisféricos de mucho menor diámetro que la esfera electrizada. El conductor AB está aislado, ya por un pié de vidrio que lo sostiene, ó ya por hebras de seda dadas de goma laca de las cuales está suspendido: debe advertirse que este cuerpo se halla en estado natural. Apénas se pone á los dos cuerpos en presencia uno de otro, el conductor da indicios evidentes de electrizacion, de lo cual es fácil cerciorarse acercando á sus extremos la bola de saúco de un péndulo eléctrico y viendo cómo la atrae el conductor; y tambien observando unos pendulitos *a b*, fijados en varios puntos del cilindro, y formados de bolitas de saúco suspendidas de hilos conductores. Estas bolas resultan cargadas al ponerse en contacto con la misma electricidad que los puntos tocados por ellas; de aquí una repulsion que se manifiesta por la desviacion de la vertical de los hilos de los péndulos. Este modo de produccion de la electricidad, desarrollada así á alguna distancia por un cuerpo electrizado en un conductor en estado natural, se llama *electrizacion por influencia* ó *por induccion*.

Los primeros fenómenos de influencia eléctrica observados fueron los de la atraccion de los cuerpos leves por el ámbar, es decir, que se remontan al mismo orígen del descubrimiento de

la electricidad: y en efecto, vamos á ver que los cuerpos atraidos se electrizan á su vez tan luégo como el trozo de ámbar frotado se halla en su presencia á una distancia suficientemente pequeña, y por consiguiente que la atraccion no es en el fondo más que un fenómeno de influencia. Pero hasta mediados del siglo pasado no se adoptó la interpretacion de que tratamos. Gay habia observado ya que una cuerda aislada se electriza cuando se acerca á ella, sin tocarla, un tubo de vidrio electrizado; y anteriormente, Olto de Guericke habia notado que los hilos suspendidos á corta distancia de su globo de azufre experimentaban cierta repulsion al acercar á ellos el dedo. Pero ninguno de ambos comprendió la importancia de este hecho. A Canton (1753) le corresponde el honor de haber indicado claramente la electrizacion por influencia. Algunos años despues, Æpinus fué más adelante, distinguiendo la naturaleza de la electricidad inducida en las diferentes partes de un cuerpo sometido á la influencia. Describamos ahora los experimentos que demuestran cómo se halla distribuida en el cuerpo electrizado la electricidad desarrollada de tal modo.

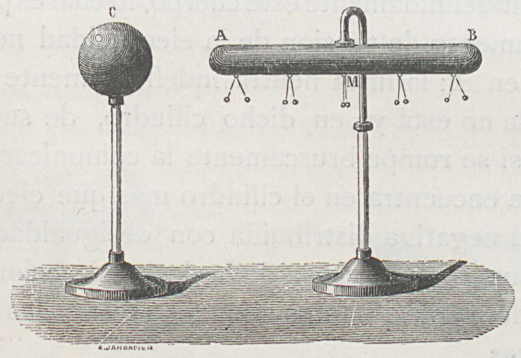


Fig. 60.—Distribucion de la electricidad en un conductor aislado electrizado por influencia

Si la esfera C (fig. 60) está cargada de electricidad *positiva,* el extremo A del cilindro más inmediato á la esfera se electriza *negativamente,* y el extremo B, por el contrario, *positivamente.* Es fácil cerciorarse de esta doble circunstancia, acercando sucesivamente á los dos extremos un pequeño péndulo aislado, cuya bola esté cargada de una electricidad conocida, por ejemplo, de electricidad positiva: al acercarla con precaucion á A, es atraida; y si á B, repelida. Lo contrario sucederia si la esfera C estuviese cargada de electricidad *negativa.*

Para estudiar la distribucion de estas dos electricidades opuestas en el cilindro conductor, se suspende á varias distancias péndulos dobles de hilos conductores, y se observa la mayor ó menor divergencia de las bolas. Entónces se ve que la tension eléctrica es máxima en cada extremo, y que disminuye progresivamente desde cada uno de estos puntos extremos á una region media M en la que es nula, y que por esta razon se llama *línea neutra.* Pero esta seccion del cilindro que se halla por tal manera vuelta á su estado natural, está más próxima á la extremidad contigua á la esfera que á la otra; no hallándose precisamente en medio del conductor electrizado por influencia. Añadamos que la tension eléctrica es tambien mayor en A que en B. En tal estado las cosas, apartemos gradualmente la esfera, y veremos entónces que las bolas de los péndulos se van juntando poco á poco, poniéndose de nuevo en contacto cuando la distancia es bastante grande. Entónces cesa toda influencia: el cilindro conductor vuelve á su estado natural, y áun recobraria instantáneamente este estado si, en lugar de separar la esfera, se la descargara de su electricidad poniéndola en comunicacion con tierra.

Es de notar que la accion de la esfera inductora sobre el conductor inmediato va acompañada de una reaccion del segundo sobre la primera; y se comprueba en efecto que la distribucion de la electricidad no es ya uniforme en ella, y que la densidad eléctrica es mayor en el extremo del diámetro más inmediato del cilindro inducido que en el extremo opuesto. Así se reconoce tocando sucesivamente los dos extremos con un plano de prueba.

En el experimento que acabamos de describir, el conductor electrizado por influencia estaba aislado. Supongamos que despues de ponerlo delante de la esfera *inductora,*—así se llama el cuerpo electrizado que obra por influencia,—se hace que comunique con la tierra su extremo más apartado de aquella. Al punto desaparece toda la electricidad de que estaba cargada esta parte del cilindro, el cual no contiene ya más que la electricidad opuesta á la de la esfera, pero á mayor tension como lo prueba la desviacion mayor de los péndulos: el máximum de tension sigue en A, y la línea neutra ha desaparecido. La naturaleza de la electricidad res-

tante, su distribucion en el conductor ó su tension en los diferentes puntos serian tambien las mismas, si en lugar de tocarle en B, se hubiera hecho comunicar con la tierra cualquier otro punto del cilindro, áun el extremo A. Por último, si despues de haber establecido esta comunicacion, se la suprime, todo continúa tambien en el mismo estado, es decir, que el conductor sigue cargado de electricidad opuesta á la de la esfera inductora, distribuida con desigualdad. Retirando entónces esta esfera, la electricidad queda en el conductor; sólo que se reparte por igual en toda su superficie, y se tiene un cuerpo electrizado por influencia y cargado de electricidad, como si lo hubiera sido directamente por frotamiento ó por contacto.

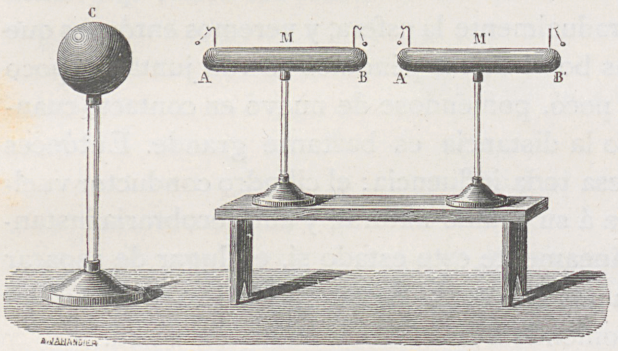


Fig. 61.—Electrizacion por influencia de una serie de conductores

Cuando se pone en presencia de un foco tal como la esfera electrizada, no ya un solo conductor, sino una serie de ellos puestos unos tras otros, AB, A'B', etc. (fig. 61), todos resultan simultáneamente electrizados por influencia; pero la tension eléctrica va disminuyendo en cada cilindro con la distancia, áun cuando sea más fuerte en A'B' por ejemplo, de lo que seria si quitándose el conductor AB sólo ejerciera la influencia la esfera inductora. Esta última observacion prueba que cada conductor obra por influencia, y contribuye á electrizar al que le sigue en la serie.

Los hechos que preceden son de gran importancia, y consecuencia natural de la hipótesis de los dos flúidos cuyas moléculas se atraen ó repelen, segun que sean de la misma ó contraria naturaleza. Además nos permitirán explicar más por completo los fenómenos de atraccion y repulsion, de electrizacion por contacto, etc. Entremos en algunos detalles acerca de estos varios puntos.

Hemos visto que un cuerpo en estado natural contiene á la vez las dos especies de electricidad, la positiva y la negativa, y en tal proporcion, que se neutralizan. Pero si se le frota con otro cuerpo, se ocasiona en cada uno de ellos la separacion de las dos electricidades; una de ellas pasa á uno de los cuerpos frotados y la otra al otro, y hallándose por cada parte en exceso cuando se separan los cuerpos (aislados si son buenos conductores), dan á conocer su presencia con los fenómenos que hemos descrito.

Veamos ahora cómo se explica la electrizacion por influencia, es decir, los fenómenos que nos ha presentado el cilindro conductor situado cerca de la esfera electrizada. La electricidad positiva de esta esfera atrae la negativa y repele la positiva del conductor; la primera se dirigia hácia el extremo A (fig. 59); y la segunda va á parar á la extremidad B. Pero la atraccion es más fuerte en A que la repulsion en B, porque la distancia al foco es menor con respecto á la primera region que á la segunda; y hé aquí porqué la línea neutra está más inmediata á A que á B. Cuando se pone el conductor en comunicacion con la tierra, es como si se prolongara indefinidamente este cuerpo, lo cual explica el aumento de tension de la electricidad negativa en A: la línea neutra indefinidamente retirada no está ya en dicho cilindro, de suerte que si se rompe bruscamente la comunicacion, no se encuentra en el cilindro más que electricidad negativa distribuida con desigualdad en su superficie, á causa de la desigual accion de la esfera sobre puntos situados á distancias crecientes.

La misma hipótesis nos dará cuenta de los primeros fenómenos que hemos estudiado, es decir, de la atraccion y repulsion de los cuerpos neutros, ó en estado natural, por un cuerpo electrizado.

Cuando se acerca la bola de saúco del péndulo eléctrico á un cilindro de vidrio C, cargado de electricidad positiva, ¿qué sucede? La electricidad neutra de la bola se descompone por influencia; la positiva es rechazada á *b* si el hilo es aislador, ó á tierra si es conductor, y la negativa es atraida á *a*. La tendencia que en ambos casos manifiestan á reunirse la electricidad positiva de la bola y la negativa del

cilindro hace que el péndulo se desvie de la vertical: hay atraccion (fig. 62). Si hay contacto, las electricidades se combinan, y la bola se carga de electricidad positiva con tal que esté aislada. De aquí resulta la repulsion entre las dos electricidades de la misma naturaleza que en tal momento contienen los dos cuerpos puestos frente á frente. Cuando la bola no está aislada, la electricidad positiva va á parar á tierra, y el contacto da lugar á la combinacion de las dos electricidades contrarias; la bola vuelve á su estado natural y ya no hay repulsion. Segun hemos visto en el capítulo anterior, todos estos hechos se comprueban por la observacion.

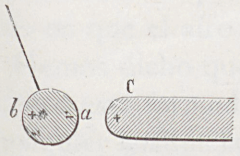


Fig. 62.—Causa de la atraccion de los cuerpos leves

No ménos fácilmente se explica la electrizacion de un cuerpo conductor por el contacto de un cuerpo ya electrizado. Antes del contacto, la electricidad neutra del conductor se descompone por influencia: habiendo, por ejemplo, atraccion de la electricidad positiva del cuerpo préviamente electrizado, por la negativa del conductor, y repulsion de la electricidad positiva. El contacto engendra en cierta proporcion

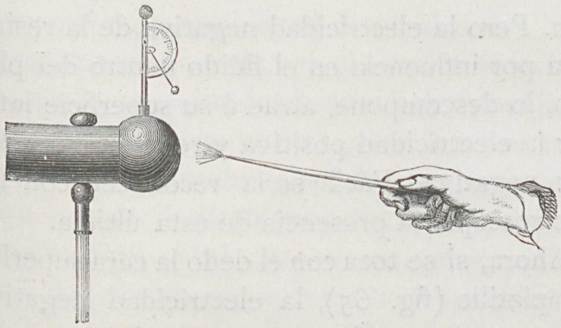


Fig. 63.—Explicacion del poder de las puntas

la combinacion de las electricidades que se atraen, y queda en el conductor un exceso de electricidad positiva. De aquí resulta una carga de electricidad de la misma naturaleza que la del foco eléctrico, lo cual hace creer desde luégo que la electrizacion se efectuaba en virtud de una especie de desagüe de la electricidad que se asimilaba á un flúido; pareciendo la hipótesis tanto más fundada cuanto que el contacto disminuia la carga eléctrica del foco. En realidad, no hay distribucion de electricidad entre los dos cuerpos, sino más bien una accion de descomposicion por influencia, y luégo una combinacion parcial, la cual suele tener efecto al través del aire un poco ántes del contacto, y segun hemos visto, va acompañada de una explosion y de una chispa.

Por último, la accion de las puntas tiene tambien en la hipótesis anterior una explicacion más completa que la que indicamos vagamente más arriba. Cuando se acerca á un cuerpo electrizado un conductor terminado en punta, la electricidad neutra de este conductor se descompone por influencia, y como la opuesta á la del cuerpo electrizado tiene en la extremidad de la punta una tension infinita, prodúcese una combinacion rápida de las dos electricidades de nombre contrario, y resulta descargado el cuerpo electrizado. Al usar Franklin las expresiones de «flúido ó fuego eléctrico *sacado* ó *impelido* por las puntas», traducia en lenguaje vulgar y con palabras de opuesto sentido un fenómeno idéntico en ambos casos.

II

FENÓMENOS DE INFLUENCIA ENTRE CUERPOS MALOS CONDUCTORES. EL ELECTRÓFORO

Hemos venido suponiendo en cuanto precede que el cuerpo que sufre la influencia ó el cuerpo inducido es buen conductor de electricidad, como lo es á su vez el cuerpo inductor ó electrizado. Los fenómenos serian los mismos, sobre poco más ó ménos, si este último fuese mal conductor. En este caso, la reaccion sobre el cuerpo influente ó inductor seria en efecto menor, por cuanto el flúido eléctrico se desvia con dificultad en la superficie de un mal conductor. Si entónces se ponen en contacto las superficies de los dos cuerpos, inductor é inducido, no hay recomposicion brusca de las electricidades, no se produce chispa alguna, y las dos superficies quedan cargadas de flúidos contrarios. En breve veremos que se ha utilizado esta propiedad para la construccion del aparato conocido con el nombre de *Electróforo*. Antes de describirlo, examinemos someramente lo que pasa cuando se hace actuar un cuerpo electrizado sobre un mal conductor mantenido á cierta distancia.

En este caso, la influencia eléctrica es muy débil, y áun se comprende que seria nula si se tratara de un cuerpo cuya conductibilidad lo fuera, de un aislador absoluto. En realidad,

semejante cuerpo no existe; hemos visto que las mejores sustancias aisladoras conducen siempre un tanto la electricidad, y un experimento muy sencillo lo demuestra así. Y en efecto, si se acerca una esfera electrizada á un péndulo formado de una bola de goma laca, ó de una aguja de la misma sustancia suspendida horizontalmente de una hebra de seda sin torcer, se observará una atraccion ó una desviacion sensible, aunque menor que si la bola ó la aguja fuese conductora. Hay pues descomposicion de la electricidad neutra del cuerpo no conductor. Matteucci ha comprobado en efecto que los dos extremos de la aguja suspendida están electrizados en sentido contrario, y si se quita la esfera inductora, la aguja inducida vuelve al punto al estado neutro.

Describamos ahora el electróforo. Este instrumento, cuyo principio está basado en la ley de los fenómenos de influencia eléctrica, fué ideado por Volta, quien le dió el nombre de *Electróforo perpetuo*, á causa de su propiedad de conservar mucho tiempo las cargas de electricidad que recibe.

Consiste en un disco de materia aisladora AA (fig. 64), como resina, azufre, ó goma, fundido en un molde de madera ó laton CC, y en un platillo conductor BB provisto de un mango aislador de vidrio ó suspendido de cordones de seda. Las más de las veces, el platillo

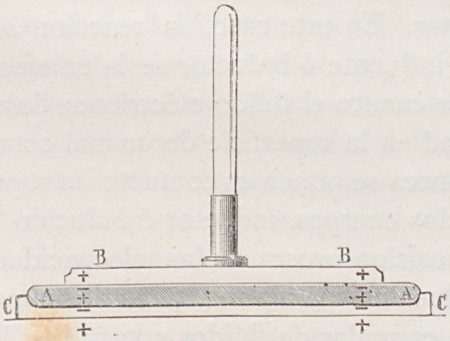


Fig. 64.—Electróforo

BB, cuyo diámetro es un poco menor que el del disco aislador, es de madera recubierta enteramente en sus caras y en su corte de una hoja de estaño.

Para servirse del electróforo, se quita el platillo conductor y se electriza la masa aisladora frotándola oblicuamente con una piel de gato. Esta friccion desarrolla en la superficie de la resina electricidad negativa, tan abundante á veces que al acercar el dedo brotan chispas acompañadas de chasquidos. Cogiendo entónces el platillo por el mango aislador, se le pone sobre el disco electrizado, en cuyo estado no se nota ningun indicio de electriza-



Fig. 65.—Manejo del electróforo

cion. Pero la electricidad negativa de la resina obra por influencia en el flúido neutro del platillo, lo descompone, atrae á su superficie inferior la electricidad positiva y repele á la superior negativa. Fácil seria reconocer con un electroscopio la presencia de esta última.

Ahora, si se toca con el dedo la cara superior del platillo (fig. 65), la electricidad negativa de que está cargada se escapa á tierra, y quitando entónces el platillo mediante el mango de vidrio, se le encontrará cargado de electricidad positiva difundida por todos los puntos de su superficie, y si se acerca la mano, se sacará de él una chispa cuya longitud depende por lo regular de las dimensiones del electróforo (1). Esta chispa tiene por causa la recomposicion de la electricidad positiva con la nega-

(1) «Lichtenberg, dice M. Mascart en su *Tratado*, construyó un electróforo cuyo disco tenia 6 piés de diámetro, el platillo 5, y sacaba de él chispas de 14 á 16 dedos de longitud.» Asimismo se cita como uno de los mayores electróforos conocidos el que Kleindworth hizo para la universidad de Gottinga, cuyo disco de resina tenia 2^{m},25 de diámetro y el platillo conductor 2 metros.

tiva del cuerpo, y por consiguiente vuelve al platillo á su estado natural. Pero el disco electrizado continúa cargado como ántes, y se puede repetir muchas veces la operacion, sin necesidad de electrizar de nuevo el aparato que puede conservar su carga meses enteros, con tal de tener la precaucion de guardarlo en un sitio en que el aire esté perfectamente seco.

Hemos dicho que el disco aislador del electróforo está formado de resina, azufre ó goma. Cualquier sustancia aisladora es buena para el objeto; mas por lo comun se hacen varias mezclas de estas sustancias para que el disco sea ménos quebradizo. En la seccion italiana de la Exposicion internacional de Electricidad habia dos electróforos, uno de ellos compuesto de una capa muy tenue de lacre, y el otro de una mezcla de 3 partes de trementina, 2 de colofonia y 1 de lacre con algunas partículas de minio. Hé aquí la mezcla más usada en la actualidad:

Colofonia.	250	gramos
Trementina.	60	»
Goma arábiga. . . .	500	»
Sebo.	15	»

Tambien se hacen muchos electróforos de ebonita ó de cautchuc endurecido; sin embargo, los discos de esta sustancia tienen el inconveniente de que los agentes atmosféricos alteran su superficie, y tambien el de combarse.

Segun acabamos de ver, el electróforo es una especie de depósito de electricidad, y por cierto muy cómodo, por cuanto para llenarlo sólo requiere una maniobra insignificante, y subsiste largo tiempo á disposicion del físico para sus experimentos. Mas para usarlo, no se deben descuidar ciertas precauciones de las que vamos á hablar, y que nos ilustrarán además acerca del modo cómo está distribuida la electricidad en los cuerpos malos conductores.

Compréndese que si despues de electrizar el disco aislador y de colocar sobre su superficie el platillo conductor, se retira este sin ponerle en comunicacion con tierra, vuelve á su estado natural. En efecto, entónces los dos flúidos contrarios, separados por la influencia de la electricidad de la resina miéntras los discos permanecen en contacto, se combinan de nuevo cuando se apartan estos. Pero ocurre otro fenómeno curioso, y es el siguiente: si el molde conductor que sostiene el disco está aislado á su vez, el aparato cesa de funcionar, ó por lo ménos no produce más que escasos resultados. ¿Cómo se explica esto? Véase cómo: Ante todo, es de notar que cuando se electriza el disco aislador, al mismo tiempo que adquiere electricidad negativa la cara que ha sufrido el frotamiento de la piel de gato, la inferior se carga de electricidad positiva. Esta obra por influencia sobre el molde metálico, descompone su flúido neutro, atrae la electricidad negativa y repele á tierra la positiva si no está aislado. En tal hipótesis, esta segunda descomposicion no estorba en modo alguno la accion de la electricidad negativa del disco sobre el platillo conductor. Por el contrario, si el molde está aislado, como su electricidad positiva no va á parar al suelo, neutraliza en parte la accion de la negativa de la resina, que resulta por tanto debilitada.

Los fenómenos de induccion ó de influencia eléctrica tienen una analogía que es imposible desconocer con los que hemos estudiado en el Libro I bajo la denominacion de fenómenos de induccion magnética. Una fila de conductores puestos unos tras otros en presencia de un cuerpo electrizado es comparable con los elementos de una cadena magnética; así como estos adquieren dos polos situados de tal suerte que los de nombre contrario estan vueltos unos hácia otros, así tambien los conductores de la especie de cadena eléctrica que suponemos, tienen dos electricidades opuestas, ó si se quiere están polarizados en el mismo sentido. Este estado eléctrico es transitorio como el magnético del hierro dulce, y desaparece tan pronto como se retira el cuerpo inductor.

Dicha polarizacion existe de molécula en molécula en todo cuerpo electrizado, bueno ó mal conductor; mas entre ambas clases de cuerpos hay una diferencia esencial. Al paso que en un cuerpo buen conductor los flúidos separados pasan rápida y fácilmente, de una molécula á otra, por una serie de composiciones y descomposiciones sucesivas, de suerte que tan pronto se destruye como se restablece el estado de polarizacion molecular, la propagacion de la electricidad se efectúa en las sustancias aisladoras con una lentitud relativa, que depende á la vez de la intensidad de la accion ejercida y del poder aislador de cada sustancia. Se hacen varios experimentos que prueban la electriza-

cion polar de las moléculas en los cuerpos no conductores. Describamos algunas.

En una vasija C llena de esencia de trementina, se introducen algunos tenues fragmentos de hilos de cristal ó de hebras de seda. La vasija lleva á uno y otro lado dos canales atravesadas por otras tantas varillas metálicas A y B, terminadas en punta y puestas una en frente de otra. Se pone en comunicacion una de estas varillas A con un generador eléctrico, y el otro B con el suelo por medio de una cadenilla metálica. Vese entónces cómo se reunen los fragmentos flotantes acudiendo de todas las partes del líquido, y formando entre las dos puntas una fila material continua. Esta especie de cadena eléctrica ofrece cierta resistencia, y si se la rompe con una varilla de vidrio, se vuelve á formar en seguida, indicando así el estado de polarizacion eléctrica molecular del líquido que sostiene sus elementos. Si se reemplazan los hilos aisladores con fragmentos menudos de un cuerpo conductor, con partículas de oro por ejemplo, se ve cómo brota á lo largo de la cadena una serie de pequeñas chispas. Faraday fué quien discurrió este experimento.

Habiendo electrizado Matteucci un haz de laminillas muy tenues de mica, deshaciéndolo al poco rato con unas pinzas de vidrio, reconoció que cada lámina estaba electrizada positivamente en una cara y negativamente en la otra, y que la intensidad iba en disminucion desde las láminas exteriores á la de en medio. Buff hizo un experimento análogo con un conjunto de discos muy delgados de resina.

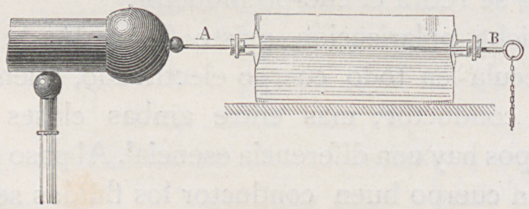


Fig. 66.—Experimento de Faraday sobre la electrizacion polar de los malos conductores

Además de demostrar estos experimentos cómo se distribuye la electricidad en los cuerpos aisladores, prueban tambien que no se propaga solamente por la superficie, sino que penetra en el interior á cierta profundidad. Compruébase además la exactitud de esta penetracion eléctrica del modo siguiente: Se pone una bujía en contacto por su base con una máquina eléctrica, y esta base se carga de electricidad positiva. Quítase la bujía, se la toca con la mano ó con una placa metálica, ó mejor aún, se la funde superficialmente. Al poco tiempo, la base de la bujía, que en un principio habia vuelto al estado neutro, da de nuevo señales de electricidad positiva. Esta electricidad procede evidentemente de las capas interiores. Matteucci ha hecho interesantes experimentos sobre la penetracion de la electricidad en el interior de los cuerpos aisladores, para lo cual se valia de placas ó cubos de cetina ó esperma de ballena.

III

FIGURAS DE LEICHTENBERG

La propiedad que tienen los cuerpos malos conductores de conservar mucho tiempo la electricidad desarrollada en su superficie no es la única que se hace patente con el electróforo. Con este aparato se pueden efectuar tambien curiosos experimentos sobre el modo de propagarse ó distribuirse cada especie de electricidad en torno de los puntos de la superficie aisladora electrizada.

Por ejemplo, si despues de quitar el platillo conductor del electróforo cargado de electricidad positiva, se le pone en contacto con el disco de resina por un punto cualquiera de su borde, brota una chispa, por haberse combinado bruscamente la electricidad positiva del primero con la negativa del segundo en el punto de contacto; siendo tambien fácil cerciorarse de que se ha difundido un excedente de electricidad positiva sobre la resina, en la cual forma una zona circular de cierta anchura que rodea al punto de contacto. Para esto, se toma una mezcla de minio y de azufre reducidos á tenue polvo, y con un fuelle, se echa esta mezcla sobre el disco del electróforo. Al pasar las dos clases de polvo (que se pueden tambien agitar de antemano) por el tubo del fuelle, se electrizan, adquiriendo el azufre electricidad positiva y el minio negativa. El primer polvo es atraido por todos los puntos de la superficie del disco que han conservado la electricidad positiva, y el de minio por los que la tienen negativa. Entónces se ve una zona amarilla al rededor del punto de contacto; en seguida aparece otra

zona neutra negra, y todo el resto de la superficie se colora de encarnado.

Pasando el borde del platillo por el disco del electróforo, ó el boton de una botella de Leyden, ó simplemente el dedo, con tal que el disco esté fuertemente electrizado, se forman algunas figuras, caractéres ó dibujos.

Dase á estos el nombre de *figuras de Leichtenberg*, por llamarse así el físico aleman que hizo por vez primera tan singulares experimentos. La fig. 67, es un facsímile de un dibujo hecho por M. Saint-Edme en el Conservatorio de Artes y oficios. Los rasgos que forman la letra G de esta figura han resultado del contacto del disco de resina con el boton de la armadura interior de una botella de Leyden, y prueban que la electricidad positiva se ramifica en la superficie de un cuerpo mal conductor. Los arcos exteriores han sido trazados, por el contrario, cogiendo la botella por el gancho y pasando por el disco el borde inferior de la misma botella; como se ve comparando

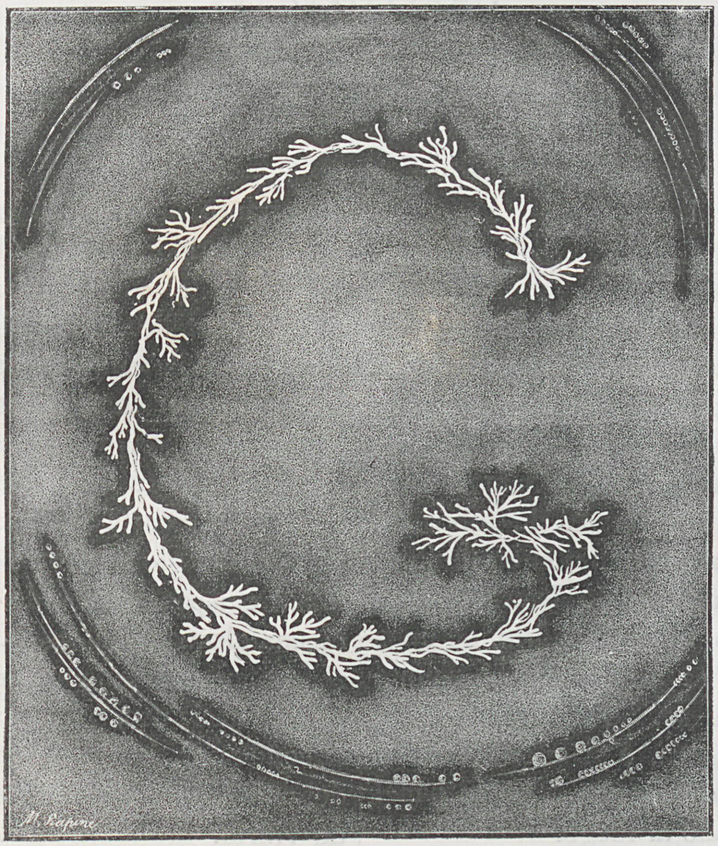


Fig. 67.—Figuras de Leichtenberg. Distribucion de las dos electricidades

las dos clases de trazados, la electricidad negativa presenta distinta distribucion que la otra. Un experimento de Æpinus, puesto en evidencia por el procedimiento de las figuras de Leichtenberg, demuestra asimismo la distribucion de ambas electricidades por zonas alternadas en los cuerpos malos conductores. Consiste en poner el extremo de una varilla de vidrio en contacto con el conductor de una máquina eléctrica. Despues de dejar algun tiempo que el vidrio se cargue de electricidad positiva, se le retira, y se ve en la superficie de la varilla y cerca del punto de contacto una zona de electricidad positiva, tras esta otra negativa, y luégo una segunda zona positiva. Espolvoreando la varilla con minio y azufre aparecen hasta cinco ó seis bandas alternativamente amarillas y encarnadas.

Leichtenberg ha variado de muchos modos esta clase de experimentos. Hé aquí otro que demuestra que si despues de electrizar fuertemente el disco del electróforo se pone sobre él el platillo conductor, resultan en varios puntos leves descargas y chispas. Estas descargas ocurren en donde se efectúa el contacto de las dos superficies; en todas las demás partes quedan estas separadas por una tenue capa de aire. En efecto, si entónces se quita el platillo y se

espolvorea el disco aislador con azufre y minio, se ve en la superficie un gran número de puntitos amarillos, que indican los sitios en que se ha diseminado la electricidad positiva del platillo, la cual desaparece en breve, y el disco queda poco á poco electrizado negativamente en todos sus puntos.

En resúmen, las dos especies de electricidades, que hemos distinguido desde el principio en virtud de la diferencia de sus modos de actuar en los fenómenos de atraccion y repulsion, se pueden caracterizar tambien por la distinta manera que tienen de propagarse por la superficie de los malos conductores. Por este concepto principalmente son interesantes los experimentos de las figuras de Leichtenberg.

CAPÍTULO IV

LAS MAQUINAS ELECTRICAS

I

LAS PRIMERAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS.—OJEADA HISTÓRICA

Los físicos que en un principio estudiaban los fenómenos eléctricos se limitaban para hacer sus experimentos á someter directamente á la friccion los cuerpos que querian electrizar. Valíanse las más de las veces, segun hemos visto, de barras de resina ó de lacre, de tubos de vidrio, etc. Despues se introdujo la costumbre, para obtener mayor cantidad de electricidad, de hacer uso de un largo tubo de vidrio, de unos tres piés de longitud, 12 á 15 líneas de diámetro y una línea de grueso. Se le frotaba con la mano desnuda, bien seca, ó si la traspiracion la humedecia un poco, con una hoja de papel gris préviamente secado al fuego.

Otto de Guericke discurrió una especie de máquina eléctrica formada de un globo de azufre derretido que daba vueltas alrededor de un eje por medio de un manubrio, como el afilador hace girar la muela. Miéntras una persona imprimia al globo un movimiento de rotacion rápido, otra apoyaba en el ecuador de esta esfera las palmas de las manos, y la friccion desarrollaba en la superficie del azufre abundante electricidad. El experimentador sacaba entónces el globo de su eje y lo utilizaba directamente para sus experimentos. Andando el tiempo (1740), Bose, profesor de física de Witemberg, sustituyó el globo de azufre con uno de vidrio y perfeccionó el mecanismo que produce el movimiento de rotacion. Pero la modificacion más importante introducida por este físico fué la que consistió en recoger la electricidad desarrollada en el vidrio. Para ello empleaba un cilindro metálico (de hojalata) suspendido sobre el globo de la máquina por medio de cordones de seda, y por consiguiente aislado. Para hacer pasar á este conductor la electricidad del vidrio, ponia el cilindro de suerte que su extremo estuviese á muy corta distancia sobre el diámetro vertical del globo. Entre este y el cilindro brotaban chispas, quedando aquel cargado de la misma electricidad que la que habia producido el frotamiento en la superficie del vidrio. Tambien se hacia uso, para comunicar la electricidad al conductor, de una cadena metálica que bajaba del cilindro en que estaba enrollada á la esfera de vidrio.

Los perfeccionamientos que se fueron introduciendo sucesivamente acabaron por dar á las máquinas eléctricas de frotamiento la forma que tienen las de casi todos los gabinetes de física. Indiquémoslas en pocas palabras.

Primeramente se modificó la forma de los cuerpos sometidos á la frotacion. Watson empleó á la vez cuatro globos de vidrio; Wilson, Cavallo y Nairne sustituyeron la forma cilíndrica con la esférica; Sigaud de la Fond, Le Roy, Cuthberson y por último Van Marum y Ramsden reemplazaron los globos y los cilindros con discos de cristal ó de vidrio. La ventaja de esta sustitucion consistió en poder dar una gran superficie al cuerpo frotado y en evitar los inconvenientes producidos por una rotacion sobrado rápida.

Otro de los progresos consistió en usar almohadillas de lana ó cuero cubiertas de hojas de estaño ó de una amalgama de estaño ó de zinc; hoy se usa para esto el oro musivo (deuto-sulfuro de estaño), que se adhiere á la superficie del cuero sobre la que se extiende ántes una capa de sebo. En realidad, estos cuerpos son los que constituyen el cuerpo frotante.

La electricidad pasaba á los conductores metálicos por descargas sucesivas que se manifestaban por una serie de chispas, ó tambien por medio de cadenas, ó de tiras de tela que reunian el conductor aislado con los globos de vidrio de la máquina. Wilson utilizó por primera vez con este objeto el poder de las puntas que Franklin acababa de descubrir. El conductor de su máquina era un cilindro terminado en unas bolas sostenidas por cordones de seda; una varilla metálica descendia del conductor al cilindro de vidrio, y le acercaba las puntas de una especie de peine, metálico tambien.

Tales son los principales perfeccionamientos introducidos en la construccion de las máquinas eléctricas desde Otto de Guericke hasta nuestros dias. Esta breve reseña histórica nos permitirá comprender mejor la razon de las disposiciones hoy adoptadas y que vamos á describir.

II

MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE FROTACION

Lo que constituye una máquina eléctrica es la reunion de dos cuerpos que, por su frotacion mutua, desarrollan en cada uno de ellos una especie de electricidad, á cuyos cuerpos se agrega otro en el cual se acumula cualquiera de los dos flúidos. El paso de la electricidad, del cuerpo frotado al acumulador ó al conductor, se efectúa por contacto ó por influencia. La máquina de Otto de Guericke no convenia con esta definicion por cuanto carecia de conductor. El electróforo es una especie de máquina eléctrica de frotacion, muy sencilla, muy cómoda, y aun aventajando á las que vamos á describir en que la electricidad ya desarrollada se conserva largo tiempo en el disco de resina y el conductor puede estar provisto, hasta cierto punto é indefinidamente, de cargas eléctricas, sin que sea menester proceder continuamente á la operacion de cargarlo.

La máquina de que ahora vamos á tratar es la conocida con el nombre de Ramsden, ó sea el del constructor que le ha dado su forma actual; pero conviene recordar que es el resultado de una serie de perfeccionamientos hechos por varios físicos, segun hemos dicho sucintamente en el artículo anterior. Examinando la fig. 68 al leer nuestra descripcion, se comprenderán fácilmente todos los detalles de la máquina.

Esta consiste en un disco de vidrio (1) fijo por su centro en un eje metálico que se hace girar con un manubrio. Al pasar este disco entre los dos montantes ó piezas de madera que soportan su eje, su superficie frota contra dos almohadillas fijas en dichos montantes. El movimiento de rotacion produce la electrizacion del disco de vidrio, que se carga de electricidad positiva en ambas caras. Las almohadillas no están aisladas, con objeto de que la electricidad negativa de que se cargan pueda ir á parar al suelo; pues si esta se acumulara en aquellas, llegaria un momento en que, siendo su influencia sobre la electricidad positiva del disco igual á la accion dimanada de la frotacion, limitaria forzosamente la carga de éste; y para evitarlo, una cadena metálica pone las almohadillas y los montantes en comunicacion con el suelo.

Cada almohadilla está rellena de crin y forrada de cuero, con una capa de oro musivo, ó una amalgama de zinc, bismuto y estaño en su superficie; habiendo probado la experiencia que estas últimas sustancias tienen gran eficacia en la produccion de la electricidad.

Tal es la disposicion de la parte de la máquina que tiene por objeto el desarrollo del flúido. Hé aquí ahora cómo se procede para cargar los *conductores*. Dase este nombre á dos largos cilindros de laton, aislados sobre cuatro piés de vidrio, terminados en porciones esféricas, y reunidos entre sí por un cilindro trasversal de menor diámetro. Los dos extremos de los cilindros mayores inmediatos al disco llevan unas

(1) Se han construido máquinas eléctricas cuyo disco era de azufre. La eleccion del vidrio no es indiferente. Los constructores de objetos eléctricos han reconocido que los discos hechos con lunas de espejo viejas eran los mejores, y segun se cree, esta superioridad depende de la menor cantidad de potasa que contienen los vidrios de fabricacion antigua, por cuya razon su superficie debe ser ménos higrométrica. El vidrio de botellas de color aceitunado, el coloreado de azul con cobalto y el cristal tambien son á propósito para el objeto. Pero cualquiera que sea la naturaleza del disco, es importante limpiarlo de vez en cuando con alcohol para quitar las materias que deja en ellos la frotacion de las almohadillas.

mandíbulas metálicas guarnecidas de puntas, vueltas hácia el disco, pero á suficiente distancia para que no haya contacto durante el movimiento de rotacion.

Veamos ahora lo que ocurre á medida que el disco de vidrio se carga de electricidad positiva. Esta electricidad obra por influencia en la neutra del conductor, la descompone, y atrae la electricidad contraria, es decir, la negativa, que se escapa por las puntas neutralizando cantidades equivalentes de la electricidad positiva del vidrio. La del disco es, por el contrario, repelida á los dos cilindros metálicos, en los cuales se acumula. En uno de ellos se ve un

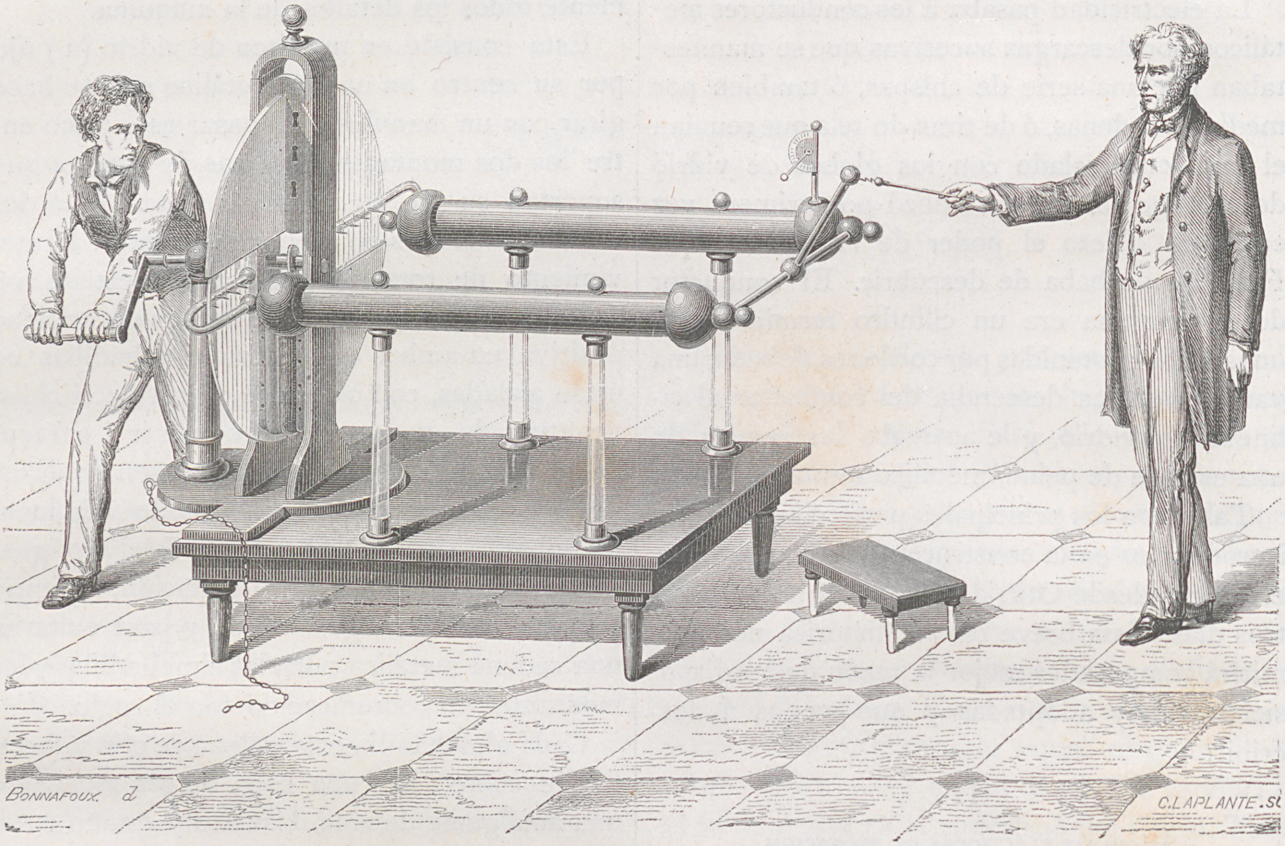


Fig. 68.—Máquina eléctrica de disco de vidrio, llamada de Ramsden

electroscopio de cuadrante, cuyo péndulo indica la tension de la electricidad recogida. El vidrio se electriza á medida que frota las almohadillas, pero se descarga al pasar por las puntas de las mandíbulas ó peines; por consiguiente, sólo están electrizados á la vez dos sectores del disco, los cuales son los que se ven en el grabado protegidos por pantallas de tafetan encerado, que impiden la pérdida causada por la humedad del aire, pues para que la máquina funcione bien, es preciso que el aire de la habitacion en que se halla esté seco y á una temperatura bastante elevada: ántes de la operacion se enjugan con cuidado los piés de vidrio que aislan los conductores.

En 1772, el físico francés Le Roy mandó construir una máquina eléctrica de disco de vidrio con un sólo par de almohadillas, y en la cual habia dos conductores cilíndricos, ambos aislados, colocados horizontalmente en los extremos del diámetro del disco: el uno llevaba las almohadillas frotadoras, el otro terminaba cerca de la superficie del vidrio, y los dos recogian las electricidades contrarias.

El constructor austriaco Winter ha modificado ligeramente la máquina de Le Roy, con arreglo al modelo representado en la fig. 69, actualmente muy difundido en Alemania. En esta máquina los conductores son esferas; una de ellas está unida á las almohadillas, y la otra lleva una mandíbula formada por dos anillos que abarcan el disco de vidrio por la extremidad opuesta del diámetro que va á parar al frotador. La primera esfera se carga de electricidad positiva, la segunda de electricidad negativa. La máquina de Winter produce escasa

cantidad de flúido, pero en razon de la distancia á que se hallan los conductores, la tension es considerable, y con ella se pueden sacar chispas más largas que con las otras máquinas eléctricas.

Con la de Nairne (fig. 70) se desarrollan

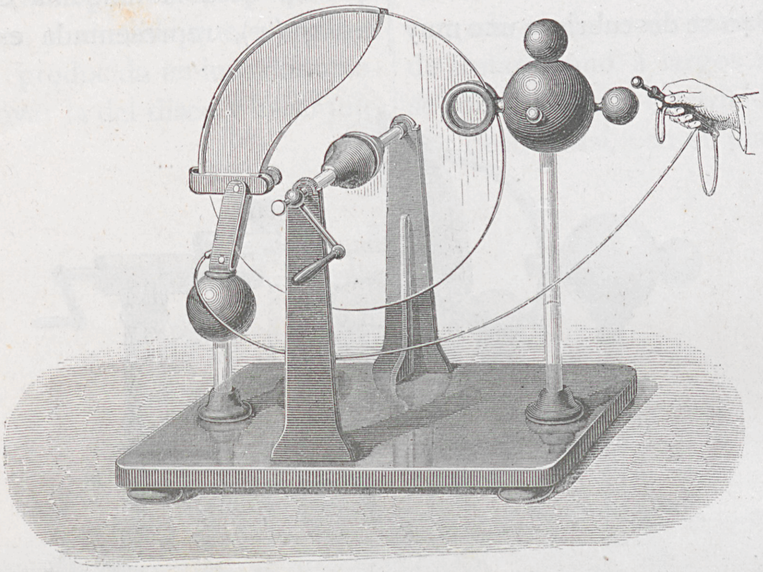


Fig. 69.—Máquina eléctrica de Winter

tambien ambas electricidades en dos conductores separados. Uno de ellos está provisto de puntas, y por lo tanto se electriza positivamente como los de la máquina de disco. El otro conductor lleva la almohadilla, que por su frotacion con un gran cilindro de vidrio, produce la separacion de las dos electricidades que forman la neutra del sistema: además, una ancha tira de tafetan cubre la superficie del cristal para evitar que se pierda parte de la electricidad desarrollada. De aquí resulta que, miéntras la positiva se acumula en el vidrio, la negativa es repelida á la almohadilla y de ésta al conductor. Puédese conservar solamente una de las

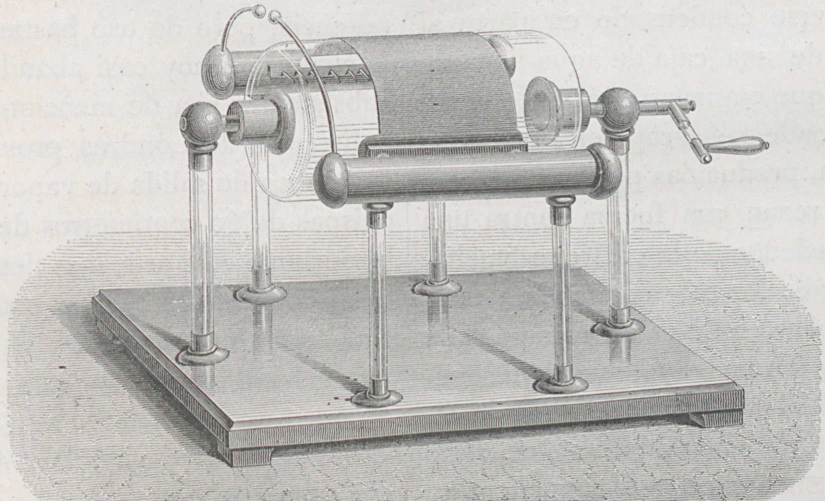


Fig. 70.—Máquina eléctrica de Nairne

dos electricidades recogidas, para lo cual basta poner el conductor que lleva la otra en comunicacion con el suelo, por medio de una cadena.

Van Marum ha ideado una máquina eléctrica (fig. 71) que se puede hacer funcionar á beneplácito, ya como la de Ramsden, ó bien como la de Nairne, pudiéndose recoger en sus conductores electricidad positiva, ó negativa, ó ambas á la vez.

Si se agita azogue bien seco en un tubo de vidrio, por ejemplo, en uno barométrico, se ven en la oscuridad resplandores que indican haberse producido cierta cantidad de electricidad, y en efecto, el tubo de vidrio atrae entónces los

cuerpos leves. Así tambien, la frotacion de los líquidos contra los sólidos se puede utilizar como medio de electrizacion. Sin embargo, no se sabia hacer uso de este medio, cuando la casualidad hizo que en 1840 se descubriese uno muy eficaz de obtener electricidad por la frotacion de un chorro de vapor mezclado con gotitas líquidas contra un sólido. Tal es el principio en que se basa la máquina eléctrica de Armstrong (1), representada en la fig. 73. Una

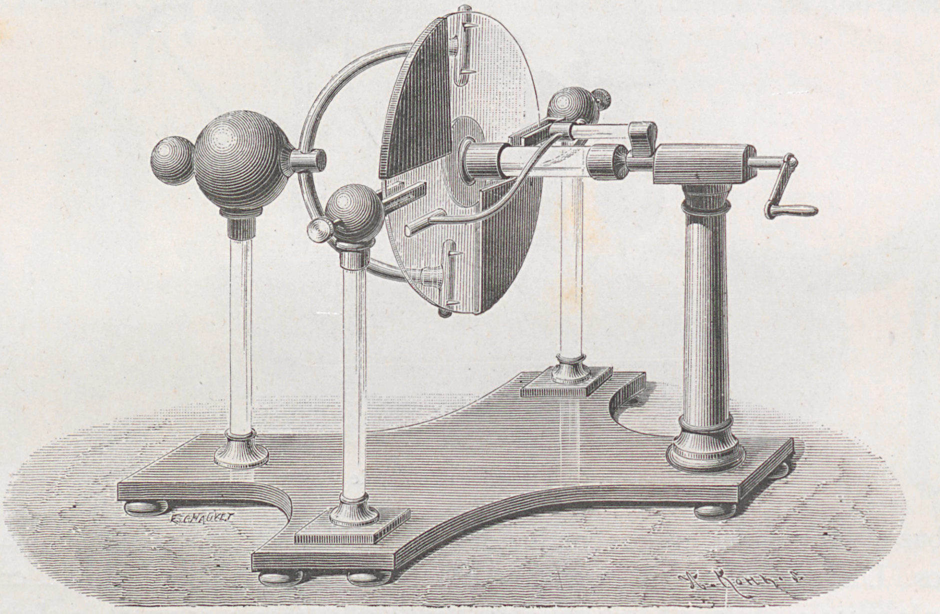


Fig. 71.—Máquina eléctrica de Van Marum

caldera, aislada por piés de vidrio y llena de agua destilada, produce vapor á alta presion, el cual sale al exterior por una serie de tubos, despues de haberse condensado en parte al pasar al través de una caja de agua llena de estopas mojadas que empapan constantemente los tubos por donde se escapa el vapor. Las vesículas de agua, producidas por la condensacion del vapor, rozan con fuerza contra una tablita de boj alrededor de la cual dan vuelta, ántes de penetrar en los tubos de salida, y tambien contra las paredes de estos, formados de la misma madera. En la fig. 72, que representa la seccion de uno de dichos tubos, se ve cómo choca el vapor contra una placa metálica contorneándola ántes de penetrar en el tubo de boj por cuyo orificio se escapa finalmente. Tambien se desprende electricidad con tanta más abundancia cuanto mayor es la presion del vapor; la caldera se carga de electricidad positiva, y el vapor de electricidad negativa. Para recoger esta última, se acerca á los chorros de vapor un conductor aislado, provisto de una serie de puntas.

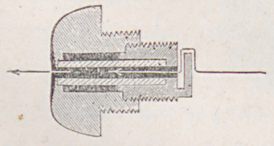


Fig. 72—Orificio de salida del vapor

Las *máquinas hidro-eléctricas* son de gran potencia, pero de uso bastante incómodo, por lo cual están hoy casi abandonadas. Entre las subsistentes son de mencionar la del Instituto politécnico de Lóndres, provista de cuarenta y seis tubos de salida de vapor, y que puede dar chispas de 60 centímetros de longitud; y la de la Sorbona en Paris, que tiene veinticuatro tubos y da tambien chispas continuas de muchos decímetros de longitud.

III

MÁQUINAS ELÉCTRICAS BASADAS EN LA INFLUENCIA

La electricidad de que se cargan los conductores en las máquinas que acabamos de describir tiene por orígen la influencia, siendo siem-

(1) Segun parece, debióse efectivamente á la casualidad, el descubrimiento en que está basada la construccion de esta máquina. «Un maquinista ocupado en arreglar una máquina de vapor cerca de Newcastle, puso la mano en el chorro de vapor que se escapaba por una juntura, y la otra en la palanqueta de una válvula de contrapeso; al punto brotó una brillante chispa, y el maquinista sintió una fuerte conmocion. Armstrong estudió las circunstancias de este fenómeno, etc.» (*Tratado de electricidad estática* por M. Mascart.)

pre igual en cantidad á la que la frotacion de las almohadillas desarrolla en el disco de vidrio; pero como esta queda á su vez neutralizada por la electricidad contraria que se escapa por las puntas de los peines, á medida que se consume la electricidad producida en los conductores, es preciso renovar la del disco y hacer funcionar la máquina.

Por esta razon se da el nombre de *máquinas eléctricas de frotacion* á las descritas en el artículo anterior. Hemos visto que en el electróforo ocurre todo de distinto modo; pues una vez cargado el disco de resina, no hay necesidad de frotarlo sino á largos intervalos, así es que se puede sacar electricidad indefinidamente, por decirlo así, con el platillo conductor, que

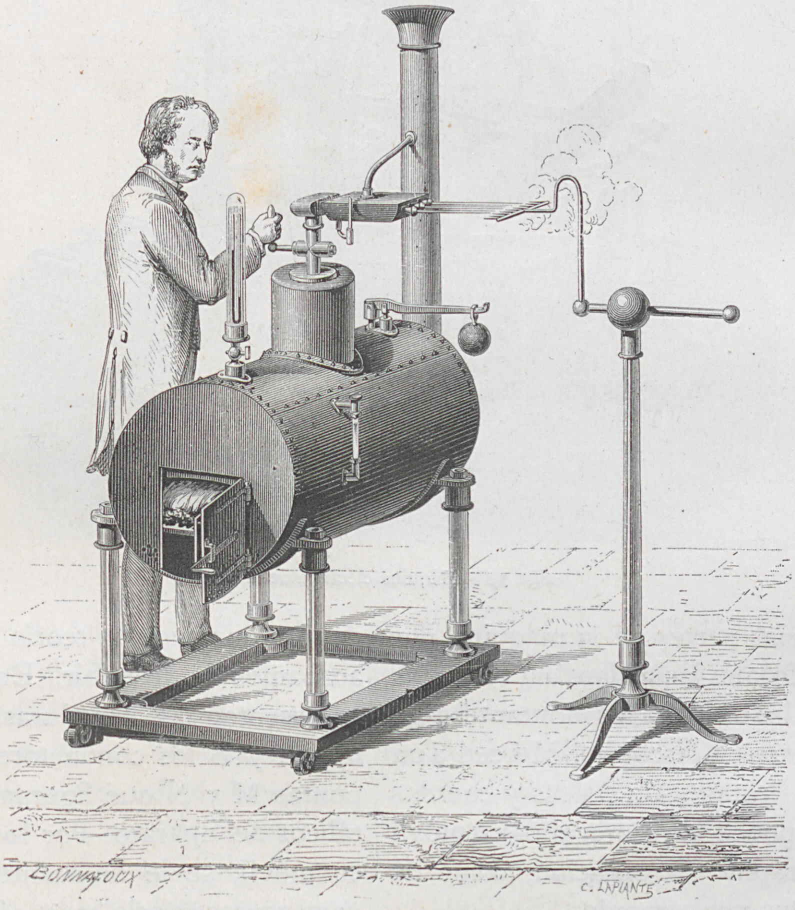


Fig. 73.—Máquina hidro-eléctrica de Armstrong

se electriza cada vez por la sola influencia. En el principio del electróforo están basadas las diferentes máquinas eléctricas de que vamos á hablar ahora; en ellas sólo se emplea la frotacion para desarrollar la electricidad indispensable á la accion por influencia, y la máquina, una vez alimentada, no funciona sino mediante este sistema de entretenimiento.

La primera máquina de influencia construida en virtud de este principio data de 1863; y fué inventada por M. Holtz, físico aleman. Al año siguiente, los señores Piche, Bertsch y Carré en Francia, y Tœpler en Rusia, construyeron aparatos análogos. La máquina de Holtz, así como estas últimas, ha recibido muchos perfeccionamientos: todas ellas están hoy muy generalizadas y son más apreciadas para los estudios de electricidad que las de frotacion. Describamos algo detalladamente las más importantes.

La fig. 74 representa la máquina de Holtz en su forma más comun. Consiste en dos discos de vidrio, A B, fijos en un mismo eje horizontal y en dos planos verticales, á corta distancia uno de otro. El disco A, de diámetro algo mayor que el otro, es fijo y está atravesado en su centro por una ancha abertura circular que da paso al eje alrededor del cual gira el disco móvil. En los extremos de su diámetro horizontal el disco fijo tiene dos aberturas ó *ventanas* practicadas en el vidrio, en forma de sectores trapezoidales y provista cada cual de una armadura de papel aplicada á las dos caras y pegada á

uno de los bordes de la ventana. Dos puntas ó lengüetas *f* y *f*' penetran en la parte vaciada ó ventana del disco fijo; al paso que frente al disco móvil hay dos conductores aislados guarnecidos de peines cuyas puntas están vueltas hácia las armaduras de papel de las ventanas. Estos conductores están acodados en ángulo recto y terminados en unas bolas *m n* que se pueden acercar una á otra y áun ponerlas en contacto. En el grabado se ve cómo están

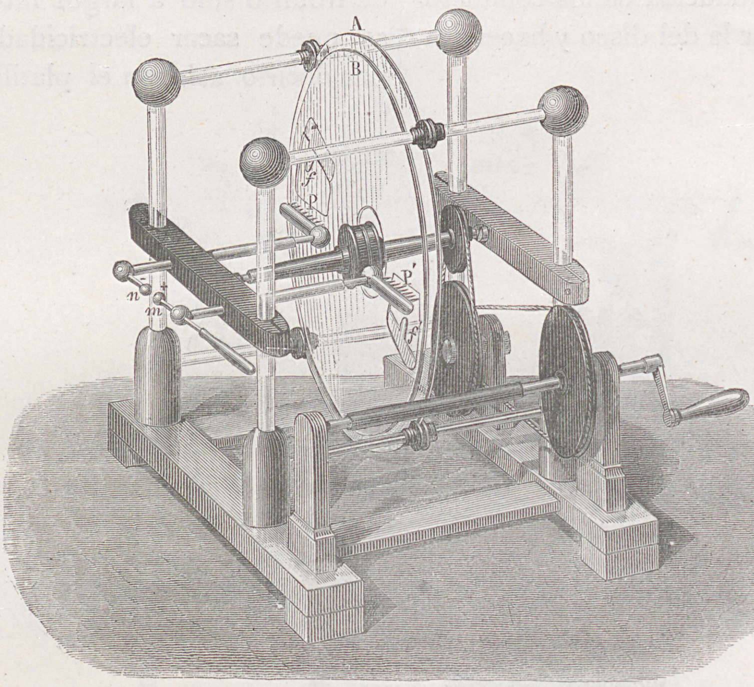


Fig. 74.—Máquina eléctrica de Holtz.

sostenidas las varias partes de la máquina por columnas de vidrio que las aislan, así como las varillas horizontales unidas á los montantes verticales que sostienen el disco fijo. Merced á un manubrio y á un sistema de poleas y cuerdas de trasmision se puede imprimir al disco móvil un movimiento rápido de rotacion, como de cinco á diez vueltas por segundo.

Para poner la máquina en marcha, se empieza por hacer que se toquen las bolas del conductor, valiéndose para ello del mango de que cada cual está provista. Dase entónces vueltas al manubrio así como al disco móvil en direccion opuesta á la de las armaduras de papel; luégo se electriza una de estas acercándola una placa de ebonita (cautchuc endurecido) frotada préviamente con una piel de gato. Casi al punto se oye la decrepitacion que indica que la electricidad se escapa de las puntas de los peines. La máquina está en marcha, y continúa funcionando y dando electricidad miéntras no se suspende el movimiento de rotacion. Si se separan las bolas terminales del conductor, se ve brotar entre ellas un flujo continuo de chispas.

Tratemos ahora de explicar lo que sucede y de dar una sucinta teoría de la máquina que acabamos de describir. En la fig. 75, C y D representan las armaduras de papel del disco fijo, A y B los conductores terminados en las puntas M y N que figuran aquí los peines metálicos del aparato. Por lo que respecta al disco móvil, se le ha sustituido en el grabado, para representarlo más cómodamente, con un

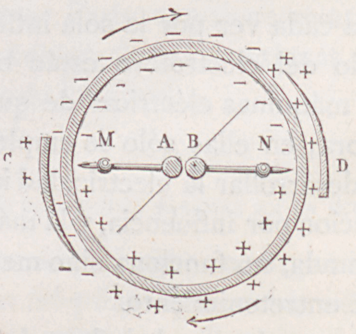


Fig. 75.—Teoría de la máquina de Holtz

cilindro de vidrio del que es una seccion el círculo lleno de la figura. Las flechas indican la direccion de la rotacion en sentido inverso de las puntas de las armaduras.

Acércase á la base de la hoja de papel C la placa de goma elástica, electrizada negativa-

mente por la piel de gato. El papel se electriza por influencia y se carga en su base de electricidad positiva, al paso que la negativa se escapa por la punta y se extiende por el disco, ó, si se quiere, por el cilindro de vidrio que está girando. Del propio modo, el conductor A B, que es continuo, puesto que suponemos en contacto las bolas A B, se electriza por influencia; la punta del peine M comunica al vidrio electricidad positiva, y la punta N, negativa. Como la otra armadura de papel D experimenta la influencia de las porciones del cilindro electrizadas negativamente y que se presentan delante de su punta, da paso por ella á la electricidad

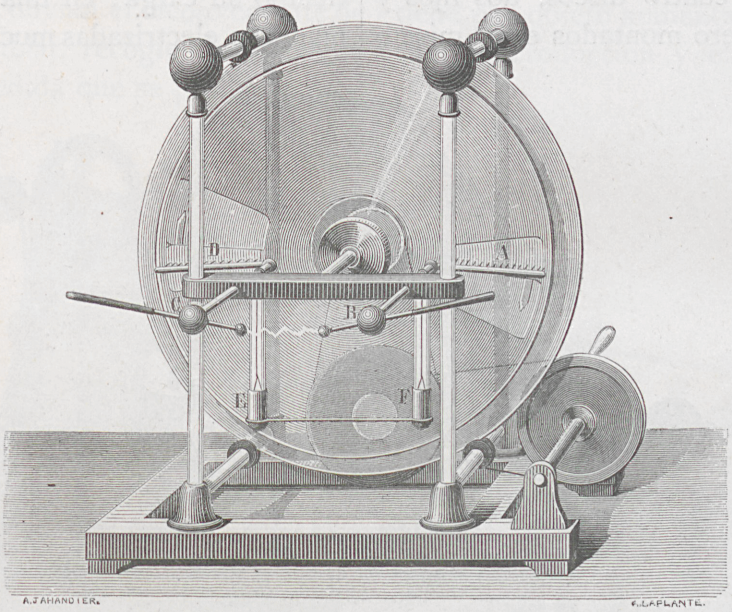


Fig. 76.—Otra máquina eléctrica de Holtz

positiva y se carga en su base de flúido negativo. Por consiguiente, el cilindro de vidrio resulta cargado en sus dos caras, interior y exterior, de electricidad negativa en una de sus mitades, y positiva en la otra mitad. Las reacciones mutuas de estas dos electricidades contrarias aumentan la acumulacion de flúido que sale por las puntas de las armaduras lo mismo que por las de los peines, acumulacion que se forma en progresion geométrica, abstraccion hecha de la pérdida por los soportes ó en el aire.

La figura 76 representa la misma máquina, á cuyos conductores se han agregado dos acumuladores que tienen por objeto aumentar su capacidad eléctrica. Estos acumuladores son dos botellas de Leyden, E, F, cuyas armaduras externas están reunidas por una varilla metálica, comunicando las internas separadamente con los dos polos B y C. Con tal adicion, se necesita un poco más de tiempo para producir las descargas eléctricas entre los dos polos; pero en vez de resultar en forma de pequeñas chispas ó penachos, casi continuos, se efectúan por chispas mucho más fuertes y ménos frecuentes.

La máquina de Holtz es un aparato muy poderoso, pero delicado y bastante sensible á la influencia de la humedad atmosférica. A igualdad de dimensiones, y con la misma velocidad de rotacion, proporciona de veinte á treinta veces más electricidad que una máquina de

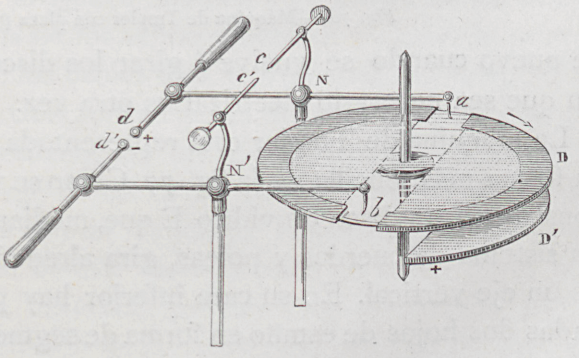


Fig. 77.—Máquina de Tœpler

Ramsden. Pero si funciona bien estando el tiempo seco y frio, á veces cuesta trabajo hacerla marchar satisfactoriamente si está húmedo, durante los dias calurosos del verano ó en una atmósfera cargada de vapor de agua á causa de la presencia de muchas personas. Se pueden obviar estos inconvenientes calentando y

secando el aire de la habitacion en que está la máquina, ó mejor aún, poniéndola sobre una mesa debajo de la cual haya un brasero encendido y cuya tabla tenga algunos agujeros por los cuales sale el aire caliente rodeando las distintas partes de la máquina.

Constrúyense máquinas de Holtz dobles, es decir, formadas de cuatro discos, dos fijos y otros dos móviles, pero montados en un mismo eje. Los peines de los conductores están en ellas encorvados en forma de mandíbulas que presentan sus puntas ante las armaduras de papel. Las máquinas dobles suministran más electricidad y dan chispas más largas que las que brotan de las máquinas sencillas; pero sobre todo tienen la ventaja de conservar más tiempo su carga; en una atmósfera seca, permanecen electrizadas muchas horas y funcionan

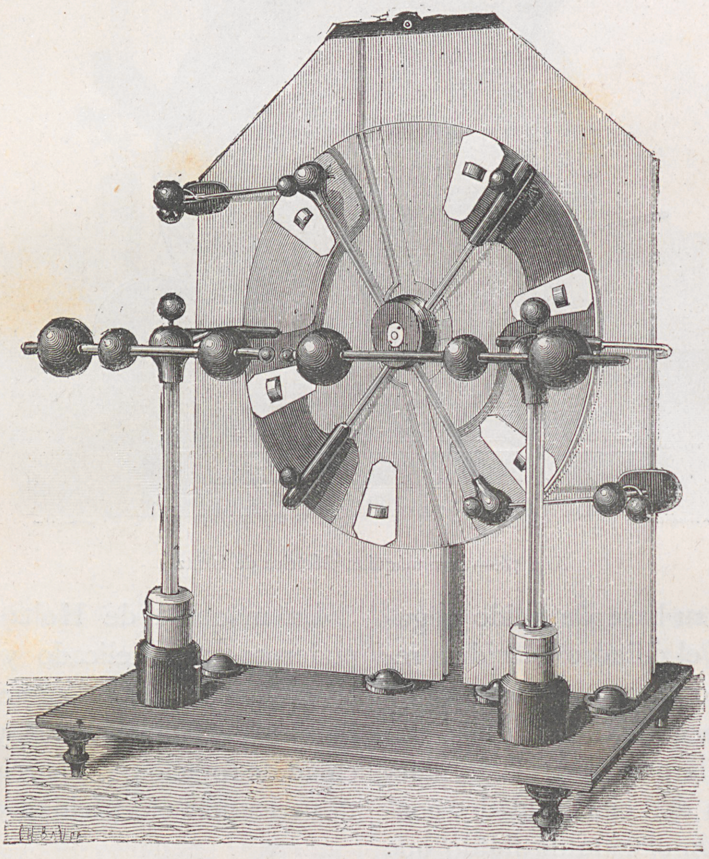


Fig. 78.—Máquina de Tœpler con placa polígona fija. Modelo de la Exposicion de Electricidad

de nuevo cuando se vuelve á girar los discos, sin que sea necesario electrizarlos otra vez.

La máquina de Tœpler está representada en su forma más sencilla en la fig. 77. Como se ve, consiste en un disco de vidrio E que, mediante un sistema de cuerdas y poleas, gira alrededor de un eje vertical. En su cara inferior hay pegadas dos hojas de estaño en forma de segmentos que se replegan sobre la cara superior en dos bandas C D separadas por un espacio diametral. Dos conductores N N', puestos sobre piés aisladores, van á parar á los dos extremos de este espacio, á cierta altura sobre él, y las bolas en que terminan están provistas de dos muelles flexibles *a b* encorvados en opuestos sentidos. Debajo del disco de vidrio móvil hay un conductor aislado D', de forma y dimensiones iguales á las de los segmentos, que, estando fijo, hace las veces de conductor. Suponiendo que se le carga de electricidad positiva, electrizará por influencia el segmento D y el conductor N*a* que forman un solo y mismo conductor miéntras el muelle *a* descansa en la banda de estaño; en este momento de la rotacion un poco anterior al que representa la figura, D se carga de electricidad negativa, y N, en el extremo opuesto, de electricidad positiva. Soltando el muelle *a*, el sector D comunica por el muelle *b* con el conductor N' y le lleva su electricidad negativa. Pero el movimiento de rotacion conduce entónces al segundo sector C al puesto del primero y hace que se electrice á su vez por influencia. Así se reproduce indefinidamente el mismo efecto, y la electricidad

recogida en los conductores va aumentando en progresion geométrica hasta un valor máximo, á partir del cual resultarian descargas en forma de chispas entre las varias partes de la máquina. Las puntas *c* y *c'* que se pueden acercar á beneplácito mediante unos tornillos, ó tambien las dos bolas *d* y *d'* de un excitador con mangos de ebonita, obvian el inconveniente de que acabamos de hablar, recogiendo el exceso de electricidad á medida que se produce.

En la Exposicion internacional de Electricidad habia modelos de la máquina de Tœpler distintos del que acabamos de describir. La figura 78 reproduce uno de ellos, y en la 79 se ve otra máquina del mismo físico, formada por la reunion de veinte discos, en vez de los dos que constituyen la máquina sencilla. Aquella tiene por objeto aumentar en la misma proporcion la produccion y el consumo de electricidad.

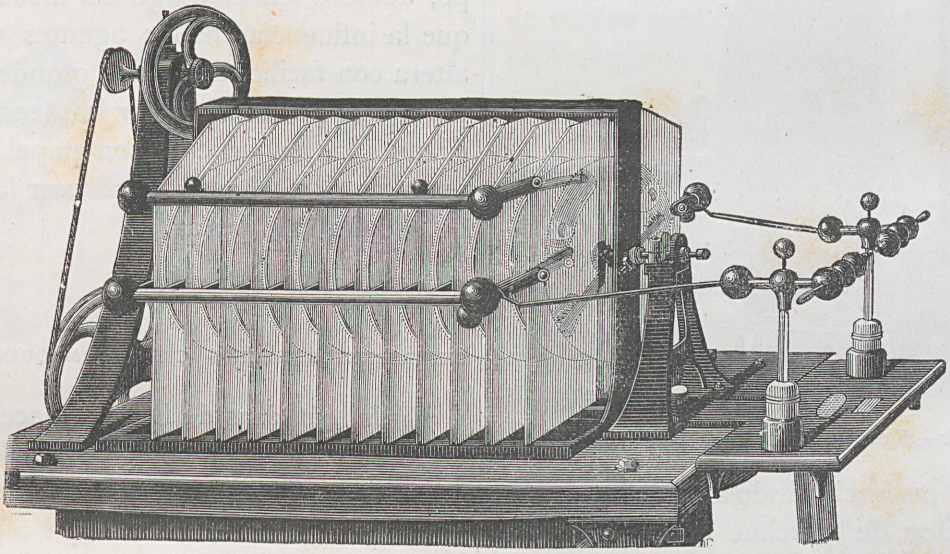


Fig. 79.— Máquina de Tœpler, de veinte discos

En la máquina de Tœpler representada en la fig. 78 se advierte á poca diferencia la disposicion general de la de Holtz. En ella el disco fijo consiste en una placa de vidrio de forma poligonal, dividida en dos partes por un espacio diametral. Esta placa lleva en su parte posterior dos hojas de estaño que hacen las veces de inductores. Delante hay un disco de vidrio móvil que tiene en su contorno hojas de estaño cortadas en forma de sectores y provista cada una de ellas de una pequeña prominencia metálica. Los peines de los conductores tienen una de sus puntas en forma de penacho que toca las prominencias de los sectores de estaño siempre que el movimiento de rotacion las conduce al diámetro horizontal del disco. Estos sectores están sometidos á la influencia de las armaduras metálicas adaptadas al otro lado de la placa fija de vidrio. Si se hace girar el disco móvil despues de cargar de electricidades contrarias las armaduras fijas, cada sector, al pasar por delante de éstas, se electriza por influencia en sentido opuesto, y la electricidad de que se carga se escapa por los peines á los conductores. El resto de la explicacion del modo cómo funciona la máquina es idéntico al del primer aparato ántes descrito.

Digamos tambien algo acerca de las máquinas de los señores Bertsch y Carré, la primera de las cuales está representada en la figura 80.

Compónese de un disco de ebonita que gira alrededor de un eje horizontal, mediante un juego de cuerdas y poleas á las que se da vueltas con un manubrio. Delante de la parte inferior de este disco se pone un sector de la misma sustancia préviamente electrizado por la frotacion de la mano ó de una piel de gato. La influencia del sector electriza al disco, que recibe por un peine N la electricidad positiva del conductor C puesto en comunicacion con el suelo. La mitad superior del disco D actúa por influencia sobre el conductor A por medio del peine M, resultando así dicho conductor cargado de electricidad positiva. Auméntase la capacidad de este poniéndolo en comunicacion con un cilindro aislado E de mayores dimensiones.

Los conductores A y C llevan el nombre de polos del aparato.

La máquina que acabamos de describir fué ideada por M. Piche, y M. Bertsch le dió su

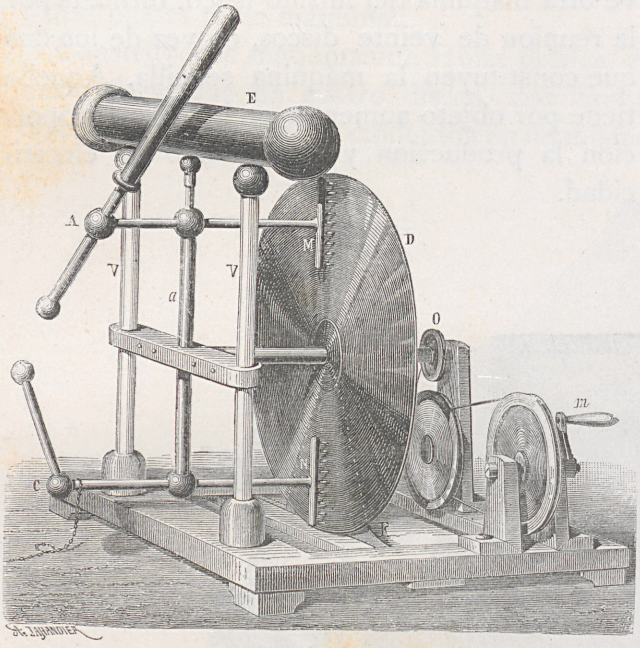


Fig. 80—.Electróforo giratorio de Bertsch

forma actual, perfeccionándola. Fácilmente se ve que el sector de cautchuc endurecido desempeña en ella el papel del disco de resina del electróforo, al paso que la parte del disco de ebonita inmediata á él hace las veces del platillo conductor. El peine inferior saca una chispa, del propio modo que el operador la saca tambien con el dedo del platillo conductor. Por esta analogía se ha dado al aparato de Bertsch el nombre de *electróforo giratorio*.

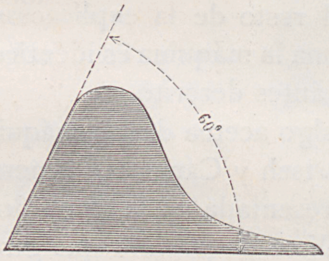


Fig. 81.—Sector de ebonita de la máquina de Bertsch

La máquina Carré (fig. 82) sólo difiere de la anterior en la sustitucion del sector de cautchuc por un disco P P, puesto á su vez en movimiento, y que gira lentamente entre dos almohadillas C. De esto resulta que el cuerpo inductor, en lugar de perder gradualmente su electricidad, como sucede con el sector de la máquina Bertsch, permanece electrizado durante la operacion y no cesa de estarlo desde el punto en que se pone la máquina en marcha. Gracias á una combinacion de poleas de dimensiones convenientes, el mismo manubrio pone en movimiento el disco grande y el inferior, haciendo que el primero gire rápidamente y el segundo muy despacio sobre sus ejes respectivos.

Las chispas obtenidas en una máquina Carré, con un disco inferior de 38 centímetros de diámetro que sirva de inductor á otro disco de 49, llegan á 20 de longitud. Este aparato, que tiene la ventaja de funcionar bien en cualquier tiempo, adolece sin embargo del inconveniente de que la influencia de los agentes atmosféricos altera con facilidad el disco grande de ebonita, pero se le puede remediar bruñendo de vez en cuando las superficies con papel esmerilado, operacion que hace desaparecer la tenue capa de ebonita estropeada.

IV

EXPERIMENTOS HECHOS CON LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

En las cátedras de física se hace una serie de curiosos experimentos con las máquinas eléctricas cuya descripcion se acaba de leer. Nuestro objeto, al mencionar aquí algunos de los más interesantes, no consiste tanto en estudiar

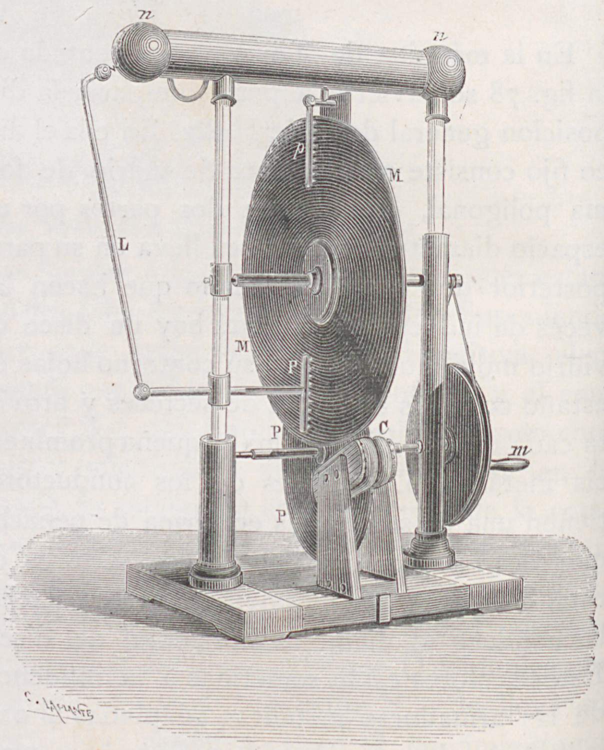


Fig. 82.—Máquina eléctrica de Carré

los efectos de la electricidad, de los cuales deberemos ocuparnos en breve de un modo más completo, como en familiarizarnos con las ex-

plicaciones de los fenómenos generales expuestos en los capítulos anteriores.

De uno de los conductores de la máquina eléctrica se suspende una regla metálica mediante una varilla, tambien de metal. De dicha regla penden asimismo tres timbres, el de en medio de una hebra de seda, y los de los extremos de dos cadenillas de laton, comunicando aquel con el suelo por medio de otra cadena. Finalmente, entre los timbres cuelgan de hebras de seda dos esferitas de cobre (fig. 83).

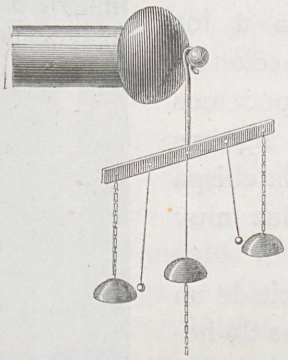


Fig. 83.—Campanario eléctrico

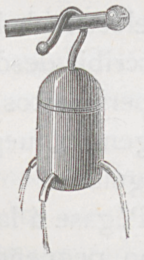


Fig. 84.—Regadera eléctrica

Tan luégo como la máquina funciona, la electricidad del conductor pasa á los timbres extremos, los cuales atraen las esferas de cobre y las repelen despues del contacto. El timbre del centro, que se halla en estado natural ó neutro, sometido á la influencia de las esferas electrizadas, se carga de electricidad contraria á la de éstas y las atrae hasta que lo tocan, despues de lo cual vuelve á su estado neutro, lo propio que las esferas. Los timbres extremos vuelven entónces á atraerlas y de esta suerte se repite indefinidamente el fenómeno. De aquí resulta una serie de choques sucesivos y por lo tanto de sonidos, que se reproducen miéntras el conductor de la máquina está cargado. Esta es la causa de que se dé el nombre de *campanario eléctrico* al aparato, que sirve tambien para indicar si el cuerpo del que se le suspende está ó no electrizado.

El célebre físico Volta ideó un aparato con objeto de explicar, mediante el fenómeno á que da orígen, el movimiento de los granizos durante las tormentas. Consiste en una campana de vidrio situada en un platillo de cobre puesto en comunicacion con el suelo. Una varilla metálica atraviesa la campana, estando en contacto por su extremo exterior con el conductor de una máquina eléctrica y sosteniendo por el otro extremo, esto es, por el que penetra en la campana, un platillo de metal. En el fondo de esta hay unas cuantas bolitas de médula de saúco. Ahora bien, tan luégo como la máquina está cargada, la electricidad pasa al platillo y atrae las bolitas que se electrizan por influencia y acuden á ponerse en contacto con él; pero en seguida son repelidas y caen en el fondo de la campana donde se descargan de su electricidad, volviendo al estado neutro. Estos movimientos de vaiven prosiguen así miéntras el conductor está cargado. Conócese este fenómeno con el nombre de *granizo eléctrico*. A veces se reemplazan las esferillas de saúco con figuritas de la misma sustancia, y se da á este experimento el nombre de *danza de los muñecos*.

La *regadera eléctrica* (fig. 84) sirve para demostrar la repulsion que experimentan entre sí las moléculas líquidas electrizadas. Consiste en un vaso metálico con tres agujeros provistos de tubos capilares, por los cuales sale el agua gota á gota cuando no está electrizado. Si se suspende este aparato, por el gancho que lleva, del conductor de una máquina eléctrica y se pone ésta en accion, el agua empieza á salir de un modo continuo, en forma de hilillos líquidos ó de chorros divergentes de tenues gotas, que parecen luminosas en la oscuridad. Como el consumo de

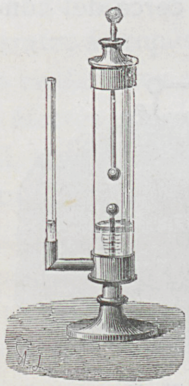


Fig. 85.—Termómetro de Kinnersley

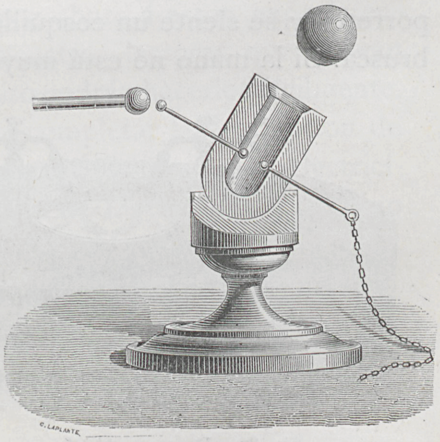


Fig. 86.—Mortero eléctrico

agua no aumenta, el fenómeno sólo reconoce por causa la division de las moléculas líquidas que resultan de su repulsion mutua, bajo la influencia de la electricidad que les comunica la máquina.

Como se ve, en estos cuatro experimentos

sólo se pone en juego, de un modo más ó ménos entretenido, los fenómenos de atraccion y repulsion eléctricas. Estudiemos ahora los efectos de la descarga eléctrica entre los cuerpos conductores.

Hemos visto que si un cuerpo aislador, una barra de vidrio por ejemplo, está electrizado, al acercar el dedo á una de sus puntas, brota una chispa, acompañada de un ruido leve y seco; pero el vidrio continúa electrizado en los puntos que no han sido tocados, lo cual se explica por la no conductibilidad del cuerpo empleado. Si se sustituye el cuerpo aislador con un conductor, como el de una máquina cargada, el efecto producido es mucho más enérgico y la descarga más completa. Por lo demás, los fenómenos que se observan entónces dependen del modo cómo se efectúa la descarga, es decir, de la naturaleza del medio interpuesto entre el conductor electrizado y el cuerpo sometido á la influencia.

Si se acerca el dedo ó cualquier otra parte del cuerpo al conductor de una máquina, brota una chispa, y se siente una conmocion tanto más fuerte cuanto mayor es la carga. El electroscopio de cuadrante, puesto en el conductor, baja entónces á cero, indicando así que la máquina está descargada. Pero cuando se da vuelta al disco sin parar, las chispas se suceden casi sin intermision; el ruido forma á modo de chisporroteo y se siente un cosquilleo sin sacudida brusca. Si la mano no está muy cerca del conductor, la tension de las dos electricidades, la de la máquina y la desarrollada en el cuerpo por influencia, es más fuerte, y cuando basta para vencer la resistencia que la mayor distancia opone á su recomposicion, se ve brotar una chispa más larga y la sacudida recorre todo el brazo. Si ántes de girar el disco de la máquina, se hace que una persona se suba en un taburete aislador ó con piés de vidrio, y esta persona pone la mano en el conductor, resultará electrizada al mismo tiempo que éste, pues entónces su cuerpo forma, por decirlo así, parte de él. Otra persona no aislada podrá sacar chispas, y ambas recibirán á la vez la sacudida que suscita la descarga.

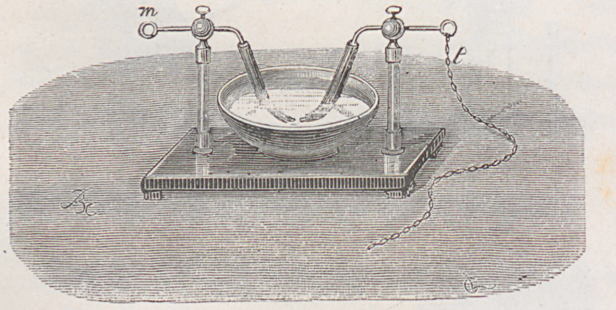


Fig. 87.—Descarga eléctrica en un líquido

Los efectos luminosos producidos por el desprendimiento de la electricidad merecen estudio especial y detallado. Nos ocuparemos de ellos más adelante, cuando hayamos pasado revista á los varios modos de produccion de la electricidad; pero podemos describir desde luégo algunos experimentos en que la chispa engendra juegos de luz muy singulares.

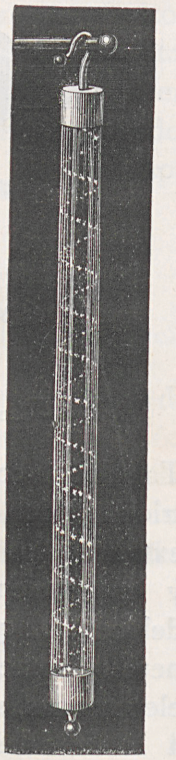


Fig. 88.—Tubo centelleante

Pégase á la superficie de un tubo, pequeños rombos de hojas de estaño, poniéndolos unos tras otros de modo que formen una curva en forma de hélice, pero con cortos intervalos entre sí. Los dos extremos de la hélice y del tubo son otros tantos casquillos metálicos, uno de los cuales se engancha al conductor de la máquina eléctrica, al paso que el otro comunica con el suelo por medio de una cadenilla. No bien se carga la máquina, hay descomposicion por influencia de la electricidad neutra del primer rombo de estaño, luégo del segundo por el primero, y así sucesivamente en toda la serie. La escasa distancia que media entre unos y otros, da lugar á descargas simultáneas; brotan chispas á la vez en todo el contorno del tubo y el fenómeno dura miéntras se da vueltas al disco (figura 88). Tal es el experimento del *tubo centelleante*.

Análogos efectos de luz se obtienen con un globo de vidrio á cuya superficie se hayan pegado pequeños romos de estaño formando dibujos variados.

Si á una placa rectangular de vidrio se pegan tiras de estaño formando una serie no interrumpida de líneas paralelas, se podrá grabar sobre

este fondo un dibujo cualquiera por medio de un punzon. De cada solucion de continuidad brotará una chispa, tan luégo como se pongan en comunicacion los dos extremos de la serie, uno con el conductor de la máquina, y otro con el suelo, y se verá la figura trazada sobre el vidrio formada por líneas luminosas. Tal es el *cuadro centelleante*.

El *cuadro mágico* no difiere del anterior sino por la colocacion irregular de las partículas de metal entre las cuales brota la luz eléctrica: échanse al azar limaduras de hierro sobre la superficie del vidrio préviamente engomada. Apénas se pone el cuadro en comunicacion por un lado con la máquina y por otro con el suelo, saltan chispas que trazan líneas irregulares y serpeantes, cuya disposicion y figura cambian á cada momento.

En los experimentos que acabamos de describir, la descarga se efectúa entre dos cuerpos cargados de electricidades contrarias, separados entre sí por un medio aislador, como el aire, el vidrio, etc. Dase el nombre de *descarga disruptiva* á la recomposicion de las dos electricidades, porque va acompañada de un movimiento violento de las moléculas del cuerpo aislador, como lo prueba el experimento siguiente.

Llénanse de cierta cantidad de agua dos tubos comunicantes de diámetro desigual, el mayor de los cuales está completamente cerrado, y el menor abierto por arriba (fig. 85). Van fijas al primero dos varillas metálicas terminadas en bolas, una en la base inferior y otra en la superior, comunicando la primera con el suelo y la segunda con el conductor de una máquina eléctrica. Tan luégo como brota la chispa, el agua sube bruscamente en el tubo abierto, y si aquella es muy fuerte, el agua salta fuera del tubo. Esta sacudida tiene por causa la conmocion violenta de las moléculas del aire, y la expansion originada por una elevacion de temperatura; pero no esta última causa sola, como en un principio lo creyó Kinnersley, inventor del experimento. Lo que prueba que el aire ha sido dilatado por el calor, es que el líquido no recobra inmediatamente su nivel en el tubo menor. A este aparato se le ha dado el nombre de *termómetro de Kinnersley*.

La expansion brusca de que acabamos de hablar ha dado orígen al experimento del *mortero eléctrico* (fig. 86), fácil de comprender dado lo que precede. En el momento en que la chispa brota, sale disparada la bala, y el efecto es aún más marcado, si ántes de operar se han echado en el fondo del mortero unas cuantas gotas de éter que el calor reduce espontáneamente á vapor.

Tambien se puede hacer brotar la chispa á través del agua. Para ello, las dos varillas conductoras que comunican, una con la máquina en *m* y otra con el suelo en *t* (fig. 87), están cubiertas de una capa de guttapercha que las aisla del agua y sólo tienen desnudos sus extremos puestos casi en contacto en el fondo de una vasija. Apénas sobreviene la descarga, salta la chispa, el agua sube, y la sacudida es á veces bastante fuerte para romper la vasija.

Limitémonos por ahora á estos experimentos; aquellos de nuestros lectores que posean aparatos á propósito podrán hacerlos fácilmente. No tardaremos en completar la descripcion de los efectos mecánicos ó físicos de la electricidad, agregándoles la de los químicos, que no tienen menor importancia.

CAPÍTULO V

LA BOTELLA DE LEYDEN.—LOS CONDENSADORES

I

EXPERIMENTOS DE CUNEUS Y MUSCHENBROEK.—DESCUBRIMIENTOS DE LA BOTELLA DE LEYDEN

Cuneus, discípulo de Muschenbroek, célebre físico del pasado siglo, trató cierto dia de electrizar el agua contenida en una botella de ancho gollete. Con tal objeto, cogió la botella con una mano, despues de introducir en el líquido una varilla metálica suspendida del conductor de una máquina eléctrica, y cuando creyó que el agua estaba suficientemente cargada de electricidad, quiso, sin dejar de sostener la botella con una mano, quitar con la otra el alambre puesto en contacto con el conductor. Al punto sintió una conmocion cuya violencia le sorprendió en alto grado. Muschenbroek repitió el experimento de Cuneus; pero la sacudida que experimentó en brazos, hombros y pecho fué tal que le dejó sin aliento, causándole un espanto tan grande que al noticiar á Réaumur aquel hecho, enteramente nuevo entre los fenómenos eléctricos á la sazon conocidos, le escribió «que no volveria á hacer la prueba áun cuando le dieran el reino de Francia.» Pero otros físicos fueron ménos tímidos. Allaman, Lemonnier, Winckler y el abate Nollet repitieron el experimento de varios modos, y la ciencia poseyó un nuevo aparato eléctrico: la *botella de Leyden*, así llamada de la ciudad en que se hizo por primera vez el experimento en 1746 (1). Véase cómo se construye hoy este aparato.

Se escoge un frasco de vidrio delgado y se le adhiere exteriormente hasta los tres cuartos de su altura, el fondo inclusive, una hoja metálica que por lo regular es de estaño, y á la cual se da el nombre de *guarnicion* ó *armadura exterior* de la botella. La *guarnicion* ó *armadura interior* consiste unas veces en una lámina metálica que cubre las paredes interiores, otras en perdigones, y otras en hojas de oro ó de laton de que se llena el frasco; segun hemos visto, la botella de Muschenbroek lo estaba de agua, es decir, que ha de ser siempre un cuerpo conductor. Por último, al tapon de corcho de la botella se adapta una varilla de cobre encorvada en forma de gancho y terminada en un boton, cuya varilla comunica por dentro con la armadura interior del frasco. Para evitar toda comunicacion eléctrica entre las armaduras, se barniza con goma laca el cuello de aquel: como sin esta precaucion el vidrio se cubriria de una capa más ó ménos ligera de vapor de agua y no aislaria completamente las dos armaduras, podria suceder que resultasen descargas entre ellas y que saltasen chispas siguiendo la superficie exterior del vidrio.

Para cargar la botella de Leyde, se la suspende por su vástago del conductor de una máquina eléctrica, cuidando de establecer con una cadenilla de metal la comunicacion entre el suelo y su armadura exterior. Tambien se la puede coger simplemente por su armadura exterior, acercando al conductor de la máquina el boton del vástago.

Cargada ya la botella, si se unen las dos armaduras exterior é interior por medio de un conductor cualquiera, resultará una descarga acompañada de chispa y de explosion. Teniendo por ejemplo el aparato en una mano y acercando la otra al boton, se efectuará la descarga por el intermedio de los brazos y del cuerpo, y se sentirá la conmocion que tanto asustó á los primeros experimentadores. Si muchas perso-

(1) Von Kleist, obispo de Pomerania, habia hecho el año anterior una observacion parecida. Habiendo pasado una varilla de hierro al través del tapon de una botella que contenia mercurio, la cogió con la mano y acercó la varilla al conductor de una máquina eléctrica; por casualidad tocó con la otra mano el conductor miéntras la varilla estaba en contacto con él, y entónces sintió en el brazo una violenta sacudida.

nas se cogen de la mano formando cadena, y la primera toma la botella presentando el vástago á la última, tan luégo como se establezca el contacto, todas ellas sentirán á la vez en sus miembros la misma conmocion. Nollet hizo esta prueba en presencia de Luis XV; trescientos guardias franceses formaron la cadena, y recibieron simultáneamente la sacudida producida por la descarga instantánea de la botella de Leyden.

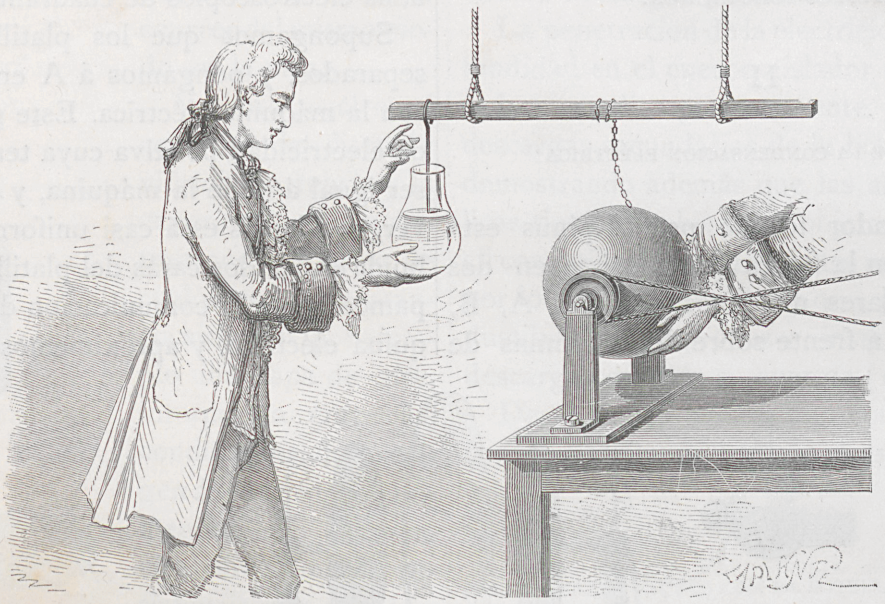


Fig. 89.—Experimentos de Cuneus: botella de Leyden

Antes de seguir adelante y de describir muchos experimentos curiosos que se pueden hacer con este aparato, procuraremos dar la explicacion teórica del doble fenómeno de la carga y descarga de la botella.

Observemos ante todo que el aparato se compone esencialmente de dos cuerpos conductores, las dos guarniciones metálicas interior y exterior, y de un cuerpo aislador que las separa, la botella de vidrio. Cuando se suspende el gancho del conductor electrizado de una máquina, la electricidad de este se distribuye por toda la superficie de la armadura interior, que se encuentra así cargada de electricidad positiva, por ejemplo. Esta electricidad descompone por influencia la neutra de la armadura exterior, atrae á la superficie del vidrio la electricidad negativa y repele al suelo la positiva, por intermedio del cuerpo del experimentador ó de la cadena metálica.

De este modo se encuentran en presencia dos cargas de electricidades contrarias que no pueden combinarse á causa de la interposicion de la placa aisladora de vidrio. Si se facilita la reunion de ambas electricidades mediante un conductor cualquiera, se efectuará su combinacion con explosion y chispa.

Hasta aquí no parece necesario recurrir á otra explicacion: aparte de que la precedente es la que da cuenta de los fenómenos de electricidad por influencia; pero vamos á ver que en realidad es insuficiente.

Ante todo, el tamaño de la chispa y la violencia de las conmociones son ya indicios de una tension eléctrica de energía desusada: la acumulacion de las dos electricidades en tan gran cantidad no parece ya en relacion con las escasas dimensiones de los conductores que componen el aparato. Véase ahora otro hecho que conviene explicar: Cuando se ha descargado una botella de Leyden y se la deja á un lado algun tiempo, se la vuelve á encontrar cargada sin haberla puesto de nuevo en comunicacion con algun manantial de electricidad. Se puede sacar otra chispa, aunque ménos fuerte que la primera, luégo otra y otra, y así sucesivamente. Esto es lo que se llama *descargas secundarias* y *chispas de residuos* ó *cargas residuas*. Es pues evidente que en la botella de Leyden se puede acumular mayor cantidad de flúido que en simples conductores aislados, por cuya razon se la da el nombre de *condensador*, nombre que se aplica tambien á todos los aparatos análogos. ¿De qué procede este poder de acumula-

cion, y qué nuevos fenómenos intervienen para producirla? Procuraremos hacerlo comprender, resumiendo la teoría de la *condensacion eléctrica*, que Æpinus fué el primero en formular, en cuanto tiene de más esencial para la inteligencia de los anteriores fenómenos.

II

TEORÍA DE LA CONDENSACIÓN ELÉCTRICA

El condensador ideado por Æpinus está representado en la figura 90. Consiste en dos platillos circulares metálicos aislados, A, B, puestos frente á frente sobre dos columnas de vidrio, y separados por un disco de vidrio tambien. Dichos platillos pueden correrse por una ranura y acercarse cuanto se quiera hasta dejar entre uno y otro el espesor del disco aislador. Las varillas metálicas que los sostienen llevan unos electroscopios de cuadrante.

Supongamos que los platillos están algo separados, y pongamos á A en comunicacion con la máquina eléctrica. Este platillo se carga de electricidad positiva cuya tension acaba por ser igual á la de la máquina, y su péndulo diverge; además está casi uniformemente distribuida en las dos caras del platillo A. Interrumpamos ahora la comunicacion de A con la máquina eléctrica, y aproximemos uno á otro los

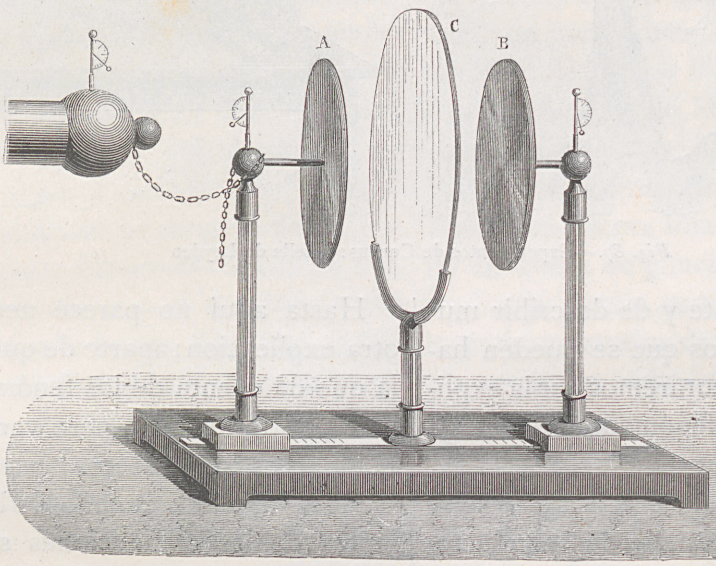


Fig. 90.—Condensador de Æpinus

platillos A y B; este último se cargará por induccion de electricidad negativa en la cara que mira al disco de vidrio, y de electricidad positiva en la otra; su péndulo divergerá tambien; pero la atraccion de la electricidad negativa de B para con la positiva de A hará que esta se acumule en la cara anterior del platillo, y el péndulo de A descenderá á cero.

Si en este momento se pone á B en comunicacion con el suelo, el flúido positivo se escapa por él, sobreviene una nueva descomposicion, la electricidad negativa se acumula en la cara anterior de este platillo, en mayor cantidad que ántes, y, por reaccion, la tension en el platillo A adquiere más energía en la cara anterior, en detrimento de la posterior, que vuelve al estado natural. Así pues, cuando se restablezca la comunicacion de A con la máquina eléctrica, pasará á este platillo una nueva cantidad de electricidad positiva, y la condensacion seguirá aumentando. La misma serie de operaciones, repetida varias veces, producirá una condensacion máximum en uno y otro platillo. La accion de ambas cargas de electricidades contrarias en un punto exterior es nula, por la sencilla razon de que hay compensacion entre las dos acciones opuestas. Así es que á veces se da el nombre de *electricidad disimulada* á cualquiera de las dos electricidades de que todo condensador está cargado. Pero lo que mejor prueba que aquí no se trata de un estado eléctrico particular, es que la accion de las dos caras interiores de los platillos del condensador no es nula respecto á un punto situado entre ellos, de lo cual es fácil cerciorarse tocando con un plano de prueba una de dichas caras, pues se reconoce que aquel

punto está cargado como el mismo platillo.

Vése pues que el condensador Æpinus y la botella de Leyden difieren únicamente en la forma, y que los fenómenos cuya sucesion se observa en el uno, ocurren del mismo modo en la otra.

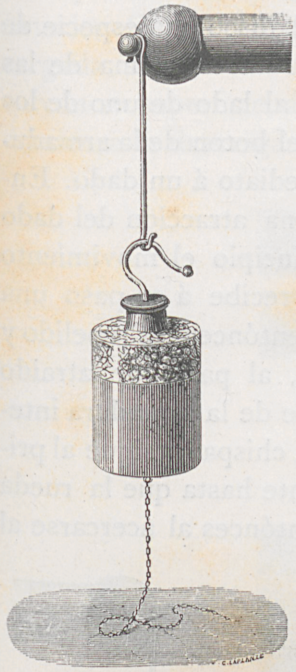


Fig. 91.—Botella de Leyden

Y ahora ¿cuál es el cometido del disco de vidrio? La teoría y la experiencia demuestran que una placa de cualquier otra sustancia aisladora, por ejemplo una capa de aire, interpuesta entre los conductores, daria orígen á los mismos fenómenos; mas como el aire ofrece menor resistencia que el vidrio á las tensiones opuestas de electricidades contrarias, acumuladas en las caras que miran á los conductores, estas electricidades no tardarian en combinarse; brotaria una chispa y el aparato resultaria descargado espontáneamente. De aquí la necesidad de interponer un cuerpo que presente mayor resistencia, como el vidrio ó la resina.

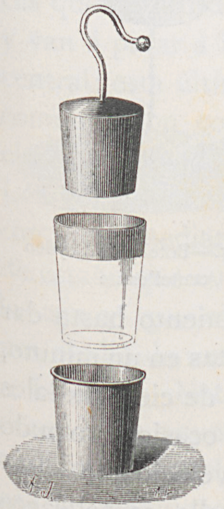


Fig. 92. — Botella de Leyden de armaduras movibles

Aún hay más: segun resulta de los numerosos experimentos de Faraday y de Matteucci, las dos cargas, positiva y negativa, no se acumulan solamente en las superficies que están en contacto con el vidrio y con las armaduras de los condensadores, sino que penetran en el primero hasta cierta profundidad. Hácese patente este caso con una botella de Leyden de armaduras movibles, compuestas de tres partes, como se ve en la figura 92. Despues de cargar la botella completa, se la pone sobre un cuerpo aislador, se quita la armadura interior con un gancho de vidrio, luégo la vasija de esta sustancia, y se reconoce que las armaduras contienen muy poca electricidad, al paso que dicha vasija está fuertemente electrizada. Por lo demás, si despues de descargar las dos armaduras se las coloca en su sitio, la botella produce una chispa tan viva como si no hubiese habido descargas parciales.

La penetracion de la electricidad á cierta profundidad en el cuerpo aislador de los condensadores explica perfectamente, como se ve, las descargas secundarias de la botella de Leyden, demostrando además que las armaduras metálicas tienen tambien por objeto el poner en fácil comunicacion los diferentes puntos del vidrio, por lo cual se comprende que, gracias á su conductibilidad, se produzca instantáneamente la descarga con toda su energía (1).

Describamos ahora algunos experimentos curiosos, fáciles de hacer con este condensador.

III

EXPERIMENTOS HECHOS CON LA BOTELLA DE LEYDEN Y LAS BATERÍAS ELÉCTRICAS

La descarga de una botella de Leyden puede hacerse instantánea ó gradualmente, sin que el experimentador se exponga á sufrir conmocion alguna.

Hácese la descarga instantánea con un *excitador*, el cual consiste en dos arcos metálicos que pueden girar alrededor de una articulacion comun y que están provistos de mangos de vidrio (fig. 93). Se coge cada mango con una mano, y se acercan las bolas metálicas en que terminan los arcos, una al boton de la armadura interior, y otra á la armadura exterior de la botella de Leyden: la descarga se efectúa en los brazos del excitador.

A veces se hacen las descargas sucesivas con

(1) «La fuerza condensante de una botella es tanto mayor cuanto más delgado el vidrio; pero no se puede exagerar esta cualidad, porque de lo contrario la descarga eléctrica que sobreviene de una armadura á otra atraviesa en breve las botellas traspasando el vidrio. Por consiguiente, el espesor de este debe ser bastante grande para que, si la botella está demasiado cargada, la descarga espontánea se produzca más bien de la varilla superior á la armadura exterior corriéndose á lo largo del vidrio.

»Importa mucho que el espesor del vidrio sea casi uniforme y que no tenga burbuja alguna, pues de otra suerte ocurren descargas en los puntos en que la resistencia es más débil; y la botella queda atravesada. La naturaleza del vidrio tiene tambien bastante influencia; los hay que son un poco conductores, de modo que la electricidad penetra en ellos á cierta profundidad, y á la primera descarga desaparece gran parte de ella; entónces se obtienen cargas resíduas muy numerosas.» (Mascart, *Tratado de Electricidad estática.*)

la *botella de timbre*. La figura 94 muestra cómo es atraido un pendulito aislado puesto sobre un timbre que descansa en un soporte metálico, y repelido luégo por la armadura interior, para experimentar en seguida los mismos efectos por

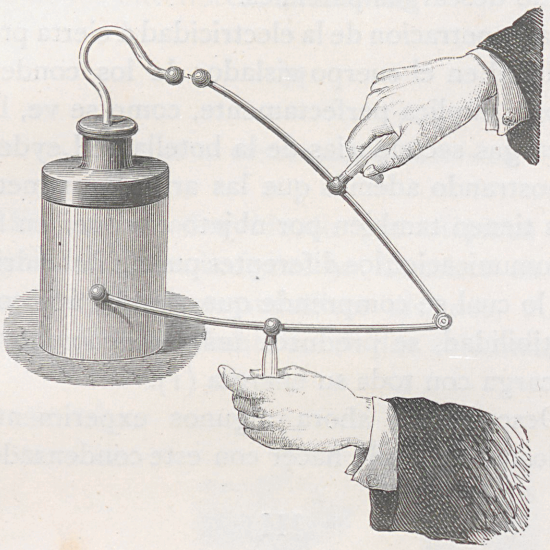


Fig. 93.—Descarga instantánea de una botella de Leyden con un excitador

parte del otro timbre. A cada contacto, la bola toma una parte de la electricidad de una ú otra armadura.

Háse dado á veces á la bola del péndulo la forma de una araña cuyas patas son hebras de seda, como reminiscencia de un experimento de Franklin.

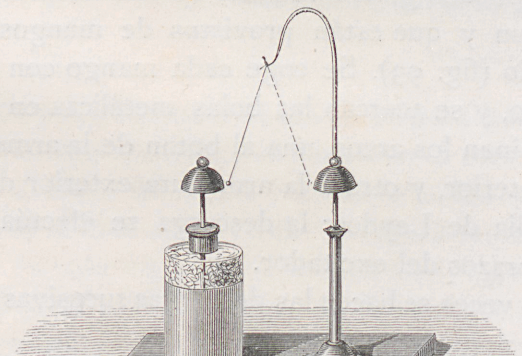


Fig. 94.—Descargas sucesivas de una botella de Leyden. Timbre

Este ilustre físico discurrió otro experimento en el cual las acciones opuestas de dos botellas de Leyden cargadas de electricidades contrarias engendran un movimiento de rotacion. Para ello se valió de un disco de madera de 12 pulgadas de diámetro que podia girar libremente alrededor de un eje vertical formado por una flechita de madera que pasaba por su centro. Treinta pedazos de vidrio fijos á la circunferencia, con un dado de cobre en la extremidad de cada uno, hacian del disco una especie de rueda dentada. Franklin colocaba una de las dos botellas de Leyden al lado de uno de los diámetros de modo que el boton de la armadura interior estuviese inmediato á un dado. Entónces experimentaba una atraccion del dado más próximo y daba principio el movimiento de la rueda. «Este dado recibe á su paso una chispa, y electrizándose entónces, es repelido y empujado hácia adelante, al paso que, atraido otro, se acerca al alambre de la armadura interior, recibe á su vez otra chispa, y sigue al primero, y así sucesivamente hasta que la rueda da una vuelta entera. Entónces al acercarse al alambre los dados ya electrizados, en lugar de ser atraidos como ántes, son por el contrario repelidos, y el movimiento cesa al punto. Pero si se coloca junto á la rueda otra botella que haya sido cargada por los lados, su alambre atraerá al dado repelido por el primero, con lo cual duplicará la fuerza que hace girar la rueda.....; todos los dados, en vez de ser repelidos cuando vuelven hácia la primera botella, experimentan una atraccion más fuerte, de modo que la rueda acelera su movimiento hasta dar con gran rapidez 12 ó 15 vueltas en un minuto, y con tal fuerza, que el peso de cien rixdales con que la cargamos en cierta ocasion, no pudo en modo alguno aminorar su velocidad.»

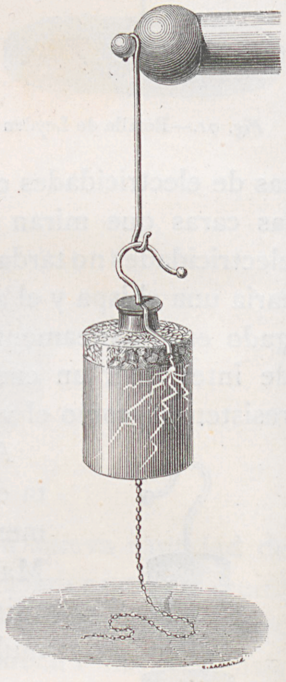


Fig. 95.—Botella de Leyden centelleante

El experimento de la botella centelleante (fig. 95) sirve para demostrar que en la descarga instantánea la electricidad va á converger desde todos los puntos del vidrio á aquel en que se verifica la reunion de las electricidades acumuladas en las dos armaduras. La armadura exterior está formada, como en el cua-

dro mágico, por fragmentos de limaduras metálicas ó de laton adheridos á una capa de goma. En la interior está fija una tira de metal que va á parar á corta distancia de la armadura exterior. Cuando la botella está suficientemente cargada, se ven líneas sinuosas de fuego que surcan su superficie, á partir del punto en que comienza la descarga.

Para obtener efectos mas enérgicos, se dan mayores dimensiones á la botella de Leyden. El vaso de vidrio tiene una ancha abertura merced á la cual se puede pegar en el interior una hoja de estaño semejante á la guarnicion exterior, y entónces se le da el nombre de *jarra eléctrica.* Muchas jarras reunidas, como en la figura 96, forman una *batería.* En estas

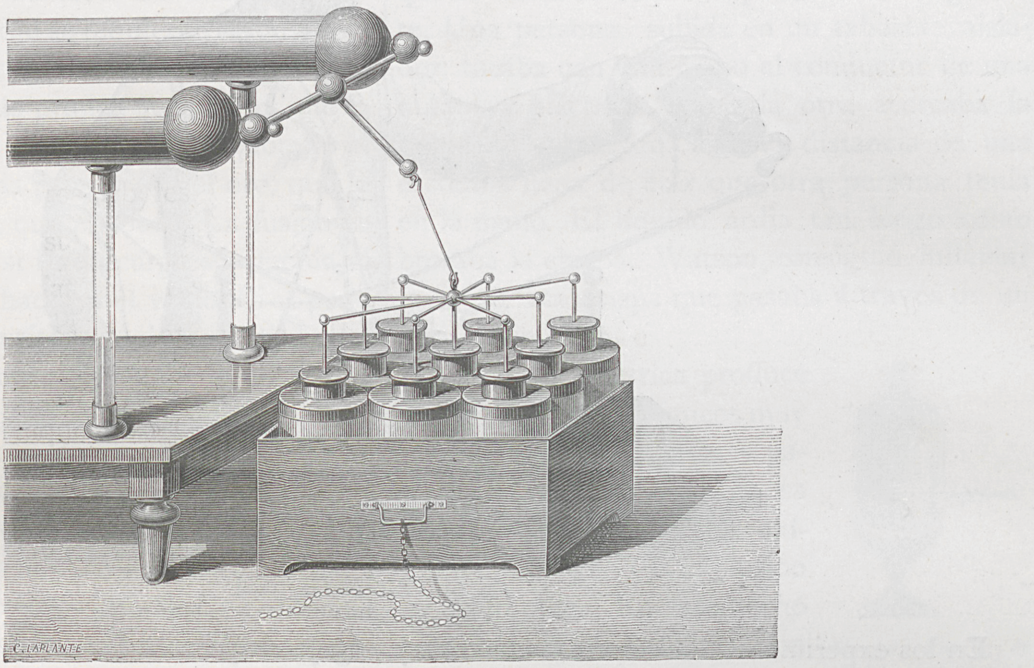


Fig. 96.—Batería de jarras eléctricas

todas las armaduras interiores están en comunicacion entre sí por medio de varillas metálicas que parten del boton de cada una de ellas y van á parar á la bola, más gruesa, de la jarra central; esta última bola es la que se pone en comunicacion con el conductor de la máquina eléctrica cuando se quiere cargar la batería. Las armaduras exteriores están unidas unas con otras mediante su contacto con una hoja de estaño que cubre las paredes interiores de la caja y que comunica á su vez con el suelo por medio de una cadena metálica.

La carga eléctrica que esos poderosos condensadores acumulan es muy considerable, necesitándose mucho tiempo para proporcionarles con las máquinas ordinarias toda la electricidad que son capaces de condensar. Se puede acelerar la operacion dividiendo la batería en otras muchas, cada una de las cuales contenga tres jarras y haciéndolas comunicar dos á dos por medio de vástagos que unan las armaduras interiores. Esto es lo que se llama *carga por cascada*; pero las baterías parciales están entónces cargadas con desigualdad, segun el órden que ocupan con relacion á la batería empalmada directamente con el manantial eléctrico.

Las descargas de las baterías eléctricas son tanto más peligrosas, cuanto mayor superficie tienen las jarras y más numerosas son. Una batería de seis elementos de tamaño regular produce ya conmociones muy fuertes, capaces de matar ciertos animales, como conejos y perros; así es que se deben tomar precauciones cuando se las quiere descargar. A este fin se puede emplear el *excitador universal,* que sirve tambien para otros muchos experimentos. Este aparato consiste en dos varillas de laton, cada una de las cuales termina por un lado en un anillo al que puede unirse una cadena, y por el otro en un boton. Estas varillas están colocadas sobre piés de vidrio y giran alrededor de una charnela. Sus dos botones convergen hácia un pié de madera en el que se coloca el cuerpo á través del cual se quiere hacer pasar la des-

carga. Una de las cadenas comunica con el suelo, y la otra con la rama de un excitador ordinario, con el cual se toca entónces sin riesgo el boton central de la batería eléctrica.

Terminaremos este capítulo con la descripcion de algunos experimentos que nos darán á conocer los varios efectos mecánicos y físicos de la electricidad acumulada en los condensadores.

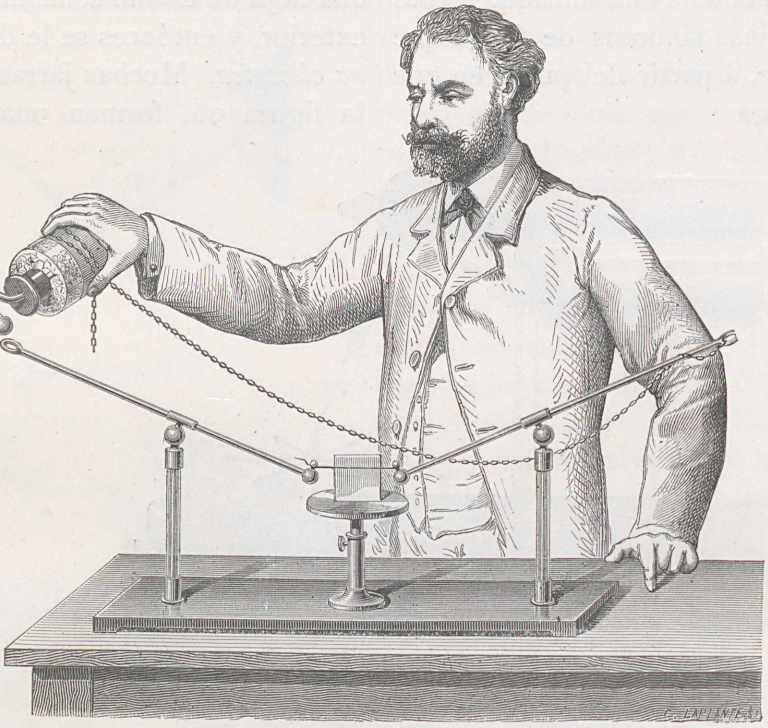


Fig. 97.—Excitador universal

En los experimentos del mortero eléctrico y del termómetro de Kinnersley hemos tenido ya ejemplos de los efectos mecánicos que produce la descarga disruptiva. La violenta dislocacion de las moléculas del cuerpo interpuesto entre los dos conductores se hace tambien ostensible con el *perfora-cartones* y con el *taladra-vidrios*.

Colócase una tarjeta entre dos puntas de conductores metálicos separados por un cilindro de vidrio. Cógese con la mano una botella de Leyden cargada, cuya guarnicion exterior se pone en comunicacion con uno de los conductores por medio de una cadena metálica, y luégo se acerca el boton de la armadura interior á cualquier punto del otro conductor. La descarga tiene efecto á través de la tarjeta, que resulta con un agujero entre las dos puntas. No es fácil explicarse en qué consiste que haciendo el experimento al aire libre, el agujero esté más cerca de la punta negativa que de la positiva, al paso que sucede lo contrario haciéndolo en el vacío (1). Es de advertir que los bordes del agujero aparecen levantados en cada cara de la tarjeta de suerte que se puede suponer que en realidad han brotado dos chispas entre cada punta y el sitio en que la tarjeta, descompuesta por influencia, es atravesada por el flúido.

Del mismo modo se taladra una placa de vidrio de $^1/_2$ á 1 milímetro de espesor, puesta horizontalmente entre dos puntas; sólo que, á fin de evitar que la electricidad se difunda por el vidrio, hay que dar un poco de aceite á cada punta metálica. Despues de la descarga, se ve en la placa un agujero redondo, el paso de la electricidad ha pulverizado el vidrio. Para que este experimento salga bien, es menester emplear una batería enérgica; pero áun cuando la descarga no sea lo bastante para traspasar el vidrio, la placa siempre queda deslustrada y deformada en el punto por el cual ha brotado la chispa.

Los efectos caloríficos de la descarga eléctrica no son ménos interesantes que los mecá-

(1) Por lo comun, se atribuye esta diferencia á la menor tension de la electricidad negativa, la cual se trasporta con ménos rapidez que la positiva, de suerte que el punto en que ocurre la descarga, y en el cual salta la chispa, está más inmediato á la punta positiva. De los experimentos hechos por Tremery resulta en efecto que el agujero aparece tanto más próximo al punto medio comprendido entre las dos puntas, cuanto más enrarecido está el aire.

nicos. Si se empalman las dos bolas del excitador universal (fig. 97) con un alambre muy fino, de plata dorada por ejemplo, el alambre se calienta y se pone incandescente; se funde y volatiliza si la carga eléctrica es bastante enérgica. Con las poderosas baterías del Conservatorio de Artes y Oficios se llega á fundir alambres de muchos metros de longitud. Por lo demás, para fundir alambres del mismo diámetro y de igual longitud se requieren cargas eléctricas muy diferentes: el hierro, el plomo y el platino se licuan más pronto que el oro, que la plata, y sobre todo, que el hierro: el plomo y el platino se licuan más pronto que el oro, que la plata, y sobre todo, que el cobre. La fusion es tambien más fácil si la descarga se efectúa al aire libre que si se hace en el vacío. Si se pone entre las bolas del excitador universal una hebra de seda dorada, la descarga funde el oro y deja la seda intacta. Se puede recoger las partículas del metal volatilizado en una tarjeta á la cual se sujeta la hebra ántes del experimento, y entónces se ve en aquella una mancha negruzca formada por un fino polvillo de oro volatilizado. Operando con diferentes metales, se obtienen manchas de varios colores, y si los que se emplean son oxidables á elevadísimas temperaturas, las huellas que resultan están formadas por los óxidos metálicos reducidos á polvo impalpable. Van Marum hizo en el siglo pasado bonitos experimentos sobre el trasporte de los metales por la descarga eléctrica. Fusinieri hizo pasar una descarga entre dos bolas, una de oro y otra de plata, y observó que la primera estaba plateada y la segunda dorada alrededor de los puntos entre los que habia brotado la chispa. Es probable que los fenómenos de que acabamos de hablar sean complejos, y que dependan á la vez de la elevacion de la temperatura producida por la descarga y de un trasporte mecánico de las moléculas.

Se ha aprovechado esta propiedad para obtener estampaciones metálicas que reproducen distintos dibujos. En las cátedras, se hace el experimento llamado *retrato de Franklin*, basado en ella.

La fusion de los hilos metálicos es una prueba evidente de la elevacion de temperatura que acompaña á las descargas eléctricas, cuando tienen efecto al través de un conductor. Las descargas disruptivas, es decir, las que ocurren al través de un aislador, como el aire, seguidas de una chispa, tambien producen efectos caloríficos, por más que al sacar la chispa con el dedo no se note ninguna sensacion de calor. Se inflaman materias combustibles, como pólvora ó éter, haciendo brotar la chispa en un punto cualquiera de dichas sustancias, experimento que se hacia en otro tiempo del modo siguiente. Una persona, subida en un taburete aislador, tocaba con una mano el conductor de una máquina eléctrica y con la otra acercaba la punta de una espada á corta distancia de una escudilla llena de éter que otra persona tenia en la mano. El líquido ardia tan luégo como brotaba la chispa. Watson consiguió inflamar éter con una chispa que pasaba á través de un pedazo de hielo.

La chispa eléctrica produce tambien efectos químicos muy interesantes. Si se la hace pasar por una mezcla gaseosa explosiva, por ejemplo, de oxígeno é hidrógeno, la explosion es instantánea. En este hecho está basada la construccion del *pistolete de Volta*. Las figuras 98 y 99 representan la seccion diametral y la vista exterior de este pequeño aparato, que consiste en una vasija esfero-cilíndrica de metal,

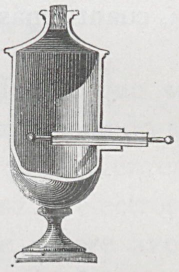


Fig. 98.—Pistolete de Volta: vista interior

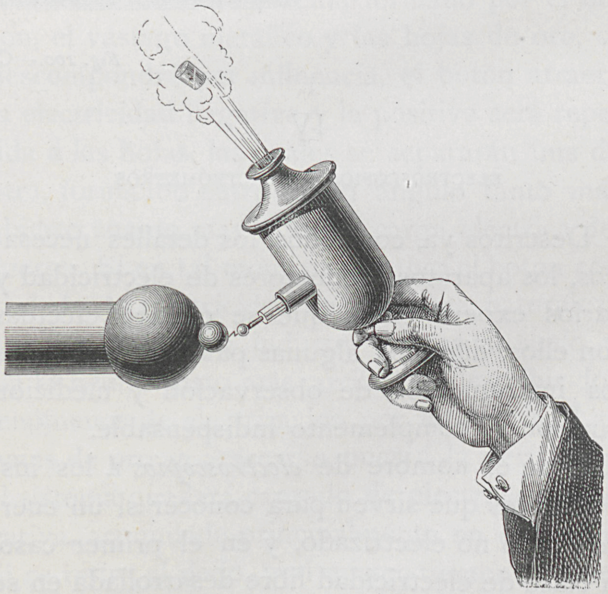


Fig. 99.—Explosion del pistolete de Volta

cerrada con un tapon, y llena de una mezcla de oxígeno é hidrógeno. Una varilla de cobre terminada en dos bolas atraviesa la pared infe-

rior del cilindro, estando aislada por un tubo de vidrio. Puesto el aparato en comunicacion con el suelo, se acerca el boton exterior de la varilla al conductor de una máquina eléctrica. Al combinarse los dos gases producen una explosion, y el tapon salta con fuerza á lo léjos.

La chispa eléctrica suscita una porcion de reacciones químicas, entre las cuales citaremos la formacion del ácido nítrico con el oxígeno y el nitrógeno, la síntesis del agua, que se obtiene mediante la descarga en el aparato eudiométrico del que hablaremos más adelante, la descomposicion del amoniaco, etc.

Finalmente, ya hemos indicado algo acerca de los efectos de la descarga cuando pasa al través de los órganos del hombre y de los animales. Las conmociones son tanto más fuertes, agitan una porcion del cuerpo tanto más extensa, cuanto más enérgicas son las descargas que las engendran; y ya hemos dicho lo peligroso que es recibir la descarga de una batería formada por un corto número de botellas de Leyden. Con un condensador llamado *cuadro fulminante* se hace un experimento con el cual se siente una sacudida de efecto raro y divertido. El cuadro fulminante no es otra cosa sino una placa rectangular de vidrio que tiene cada una de sus caras cubierta con una hoja de estaño; una de estas hojas está enteramente aislada; la otra comunica por medio de una plaquita con el marco de madera, y luégo con el suelo por una cadenilla metálica. Poniendo la primera hoja en contacto con un manantial de electricidad, se carga el condensador, y si álguien quiere coger entónces con la mano una moneda puesta sobre la hoja de estaño superior, siente una sacudida que le obliga á contraer los dedos, impidiéndole coger la moneda.

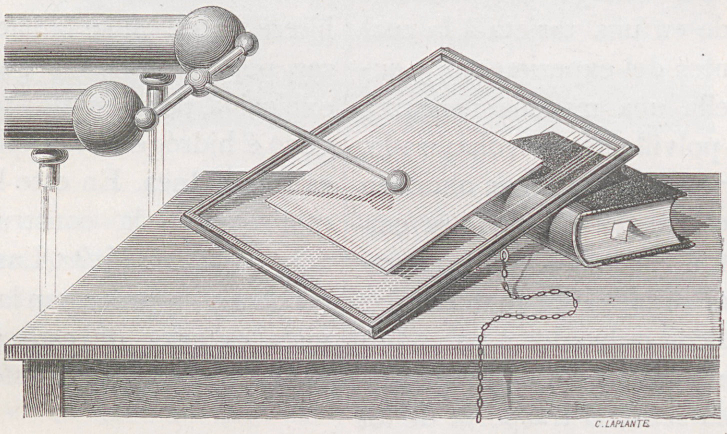


Fig. 100.—Cuadro fulminante

IV

ELECTROSCOPIOS Y ELECTRÓMETROS

Descritos ya, con todos los detalles necesarios, los aparatos productores de electricidad y varios experimentos que se pueden efectuar con ellos, digamos algunas palabras acerca de los instrumentos de observacion y medicion que son su complemento indispensable.

Dase el nombre de *electroscopios* á los instrumentos que sirven para conocer si un cuerpo está ó no electrizado, y en el primer caso, la clase de electricidad libre desarrollada en su superficie. Los péndulos simples ó dobles, de que ántes hemos tratado, son electroscopios. Se aplica el nombre de *electrómetros* á los instrumentos con que se miden las cantidades de electricidad de los cuerpos. La balanza de torsion de Coulomb, descrita en el artículo consagrado á la determinacion de las leyes de las acciones eléctricas, no es otra cosa sino un electrómetro.

El *péndulo eléctrico simple* se compone, como ya sabemos, de una bolita de corcho ó de saúco, suspendida de un hilo que unas veces es conductor y otras aislador. Cuando el hilo es conductor y comunica con el suelo por un pié metálico, el aparato indica solamente, en virtud de la atraccion que experimenta la bola, si el cuerpo que se acerca á él está electrizado ó en estado natural. Si el hilo de suspension es de seda, y el pié de vidrio está barnizado con goma laca, el péndulo sirve para conocer la naturaleza de la electricidad del cuerpo. Para esto se le

acerca á la bola, á la que atrae, repeliéndola inmediatamente despues del contacto. Hecho esto, se coge una barra de vidrio y otra de resina y se las electriza frotándolas con un pedazo de paño; se las acerca sucesivamente á la bola, y aquella de ambas que produce una repulsion está electrizada como el cuerpo. Podríase operar al contrario, es decir, electrizar la bola del péndulo poniéndola en contacto con una ú otra barra; electrizada por el vidrio, se cargaria de electricidad positiva; y por la resina, de electricidad negativa. Si el cuerpo sometido al experimento repele entónces la bola del péndulo, consiste en que está á su vez electrizado del mismo modo.

El doble péndulo está formado de dos bolas de saúco suspendidas de hilos conductores (por ejemplo, de lino), que se tocan cuando no están electrizadas y se separan cuando se las carga de la misma electricidad. Dufay se sirvió de él desde 1733, luégo el abate Nollet, y por último Cavendish (1781), que medía la fuerza de electrizacion, valuándola segun la mayor ó menor divergencia de las bolas.

El *electroscopio de cuadrante* y el de *hojas de oro* son en realidad péndulos simples ó dobles, que tambien pueden servir de electrómetros.

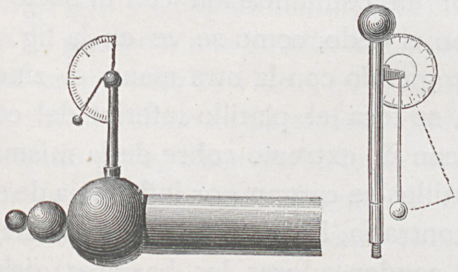


Fig. 101.—Electroscopios de cuadrante

La figura 101 representa el primero de estos aparatos que como se ve, se compone de un soporte conductor, que lleva un cuadrante de marfil. Del centro de este pende la varilla de un péndulo de bola de saúco, varilla de marfil tambien y muy delgada. Cuando se pone este aparato sobre un cuerpo cargado de electricidad, esta se difunde por todas las partes del electroscopio. La bola de saúco, puesta en contacto con el soporte, experimenta una repulsion, y al desviarse de la vertical marca cierto número de grados en el cuadrante, siendo el ángulo tanto mayor cuanto más enérgica es la carga eléctrica del cuerpo.

El *electroscopio de hojas de oro* (fig. 102) se compone de una campana de vidrio puesta sobre una placa de metal, en cuyo interior penetra un vástago de laton terminado exteriormente en una bola ó en un platillo metálico.

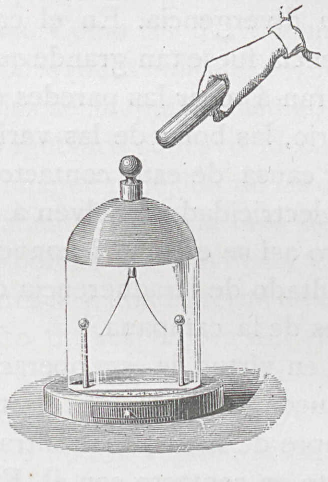


Fig. 102.—Electroscopio de hojas de oro

Dicho vástago lleva dos hojas de oro que se mantienen verticalmente en contacto cuando el aparato no está electrizado, y que divergen cuando lo está. Véase cómo se usa el electroscopio de hojas de oro, cuando se quiere averiguar si un cuerpo está ó no electrizado:

Se acerca poco á poco el cuerpo en cuestion á la bola exterior; si no está cargado de electricidad, las hojas se mantienen en contacto; si lo está, positivamente por ejemplo, la electricidad neutra del sistema formado por el boton, el vástago metálico y las hojas de oro, se descompondrá por influencia, el boton atraerá la electricidad negativa y la positiva será repelida á las hojas, las cuales se separarán una de otra, formando entre sí un ángulo tanto más abierto cuanto mayor sea la carga eléctrica del cuerpo. Si en tal momento se toca el boton con el dedo, la electricidad de la misma naturaleza que la del cuerpo inductor pasará al suelo, y así lo hemos visto más arriba al describir los fenómenos de electrizacion por influencia. Las hojas de oro se acercarán pues á la vertical, y el sistema quedará cargado de electricidad negativa, acumulada principalmente en el boton. Si se retira el dedo, y al mismo tiempo el cuerpo inductor, la misma electricidad negativa se difundirá por el sistema, y hará que las hojas de oro se separen de nuevo.

A cada lado de las hojas de oro del electros-

copio hay una varilla vertical con una bola en la punta; estas varillas, que descansan en el platillo del aparato y que por consiguiente comunican con el suelo, adquieren por influencia una electricidad contraria á la de las hojas; las atraen pues, y contribuyen por lo tanto á aumentar su divergencia. En el caso de que esta divergencia fuese tan grande que las hojas de oro llegaran á tocar las paredes de la campana de vidrio, las bolas de las varillas las detendrian. A causa de este contacto, las hojas pierden su electricidad y vuelven á caer en la vertical, pero así se evita el inconveniente que hubiera resultado de la adherencia de las hojas á las paredes de la campana.

Así pues, en virtud de esta operacion el electroscopio queda cargado de electricidad, la cual es siempre de naturaleza contraria á la del cuerpo puesto en contacto con él. En tal estado, puede servir para conocer cuál es la clase de dicha electricidad, dado caso de que se ignorase. Hé aquí cómo se procede entónces para averiguarla:

Se aproxima al boton del instrumento un cuerpo cargado de electricidad conocida, por ejemplo, una barra de resina, electrizada negativamente. En el caso supuesto, es decir, hallándose las hojas cargadas de electricidad negativa, ¿qué sucederá? La influencia de la electricidad negativa de la barra se echaria de ver por la mayor divergencia de las hojas, á las cuales será repelida la electricidad positiva del vástago y cuya tension resultará así aumentada.

Si en vez de una barra de resina se hiciera uso de una de vidrio, electrizada positivamente, las electricidades contrarias de las hojas de oro y del vidrio se atraerian, y la divergencia, en lugar de aumentar, disminuiria hasta ponerse aquellas en contacto. Pero en este caso podria haber una causa de error, por cuanto al tocarse las hojas, la influencia de la barra de vidrio puede causar una nueva descomposicion y por consiguiente divergencia de las hojas de oro. Es por tanto preferible, cuando no hay desde luégo divergencia, hacer otra prueba con un cuerpo cargado de electricidad contraria.

Cuando el manantial eléctrico cuya intensidad se quiere medir es muy débil, é impotente para producir una divergencia apreciable de las hojas de oro, se usa el *electroscopio condensador* de Volta, el cual no es más que un electroscopio de hojas de oro cuya sensibilidad se ha aumentado con la sustitucion de la bola su-

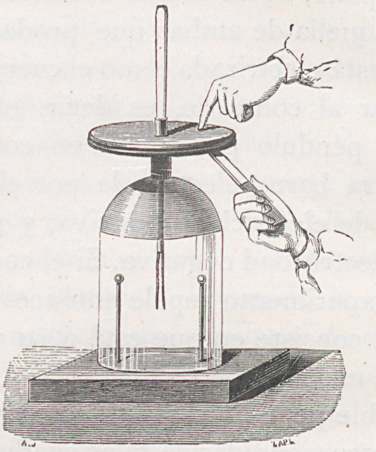


Fig. 103.—Electroscopio condensador de Volta

perior por un disco ó platillo metálico barnizado de goma laca. Sobre este disco se pone otro semejante, de la misma dimension, provisto de un mango aislador, y barnizado como el primero, de modo que se toquen sus dos caras aisladoras. Supongamos que se quiere estudiar el estado eléctrico de un manantial de poca fuerza, por ejemplo, de una lámina doble de cobre y de zinc soldadas. Para ello, se pone el platillo superior en comunicacion con el suelo tocándolo con el dedo, como se ve en la fig. 103, y luégo cogiendo con la otra mano el zinc de la lámina, se toca el platillo inferior del condensador con el extremo cobre de la misma. Los dos platillos se cargan por influencia de electricidad contraria, haciéndoles desempeñar el papel de condensadores los barnices aisladores que los separan. Entónces se suprimen la comunicacion del platillo superior con el suelo y la del inferior con el manantial de electricidad. La que se habia acumulado en el segundo y que estaba retenida en la superficie del disco por la influencia del conductor, se extiende por toda la superficie, y de consiguiente, por las hojas de oro, que empiezan á separarse. Volta pudo apreciar de este modo fuerzas eléctricas sumamente débiles, y tanto que un foco eléctrico que en el electroscopio ordinario sólo hubiera marcado una divergencia de 0°,25, gracias al empleo del condensador la producia de 30°, esto es 120 veces mayor.

W. Thomson, físico inglés contemporáneo,

ha ideado varias formas de electrómetros, siendo el más usado y exacto de ellos el que lleva el nombre de *electrómetro de cuadrantes*, cuyo principio vamos á indicar.

Este aparato se compone de una aguja metálica muy ligera, por ejemplo, de aluminio, y que tenga la forma de un 8, como se la ve representada en C fig. 104, suspendida de dos hilos paralelos de modo que pueda oscilar en un plano horizontal como la aguja de una brújula. Dicha aguja recibe una fuerte carga eléctrica, y á fin de evitar las pérdidas que esta carga pudiera experimentar, está unida por un hilo de platino á una botella de Leyden, que consiste en un vaso de vidrio, en forma de campana invertida, lleno en parte de ácido sulfúrico concentrado puro, constituyendo la armadura interior; y cubierto exteriormente de hojas de estaño que componen la armadura exterior del condensador. La aguja va metida en una especie de caja formada por cuatro cuadrantes metálicos colocados horizontalmente, como se ve en la fig. 104. Cada cuadrante está aislado de los que tiene al lado, pero unido con el diametralmente opuesto á él, de modo que el conjunto forma dos sistemas eléctricos.

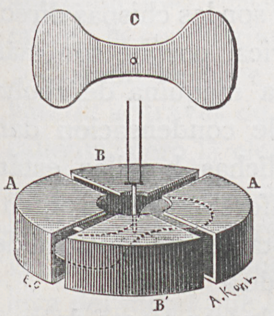


Fig. 104.—Aguja y cuadrantes del electrómetro de Thomson

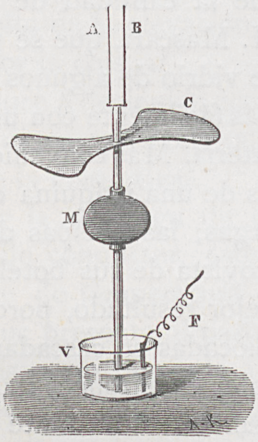


Fig. 105.—Suspension bifilar y espejo de la aguja del electrómetro de cuadrantes

Supongamos que la aguja está cargada de electricidad positiva, y que se ponen los cuadrantes A y A′ en comunicacion con el suelo y los cuadrantes opuestos B y B′ con el conductor cuyo estado eléctrico se desea evaluar. La electricidad del conductor pasará por los cuadrantes B y B′ y descompondrá por influencia la electricidad natural del sistema A A′ que se cargará de electricidad contraria. La aguja se desviará, por estar atraido cada uno de sus extremos por el sistema que contiene la electricidad negativa y repelido por el otro. La direccion de la desviacion marcará pues la naturaleza de la electricidad que se trata de medir, y la amplitud de aquélla indicará la intensidad de ésta. Como las desviaciones son cada vez más débiles (pues nunca exceden de 4° á 5°), para medirlas se adapta al vástago de la aguja un espejito metálico cóncavo M en el cual se observa la imágen reflejada de las divisiones de la regla graduada. Sobre la tapa de la caja que contiene la botella de Leyden y el sistema de los cuadrantes hay una linterna en cuyo interior está el punto de suspension del vástago de la aguja. Al través de la abertura de esta linterna se observa el espejito fijo sobre la aguja, no debajo, como podria suponerse en vista de la disposicion puramente teórica de la figura 105.

Bastan para nuestro propósito estas sucintas indicaciones; el lector que desee conocer más detalladamente el electrómetro de Thomson puede consultar los tratados especiales.

Se mide tambien la carga eléctrica de un manantial, ya considerando la intensidad de la chispa que salta cuando se la descarga, ó ya por el número de chispas idénticas que se sacan del manantial. El *electrómetro de Lane* es un aparato basado en este último principio. Fórmalo una botella de Leyden cuya armadura interior *a* está en comunicacion con el manantial eléctrico cuya carga se quiere medir. La armadura exterior comunica por su parte con el suelo y con una bola *b* en que termina una varilla horizontal que se puede acercar á la bola *a* mediante un tornillo con el que se hace correr la columna que sostiene la varilla. Cuando, estando las dos bolas á distancia conveniente, la carga eléctrica del manantial (una máquina eléctrica por ejemplo) haya llegado á un valor

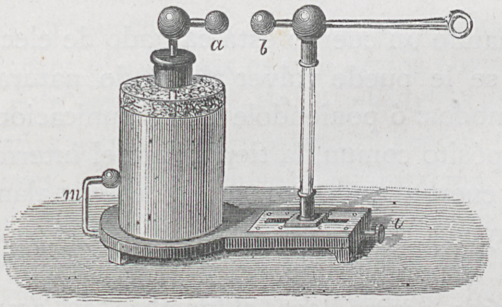


Fig. 106.—Electrómetro de Lane

límite, brotará espontáneamente una chispa, y el fenómeno se reproducirá de continuo. Claro está que la cantidad de electricidad que pasa de este modo es proporcional al número de chispas idénticas producidas entre las bolas del aparato. Mas, para poder comparar distintos manantiales, se requiere que no varie la distancia á que se produce la explosion y que el conductor que une la bola *b* con la armadura exterior de la botella sea siempre el mismo.

Si se quiere medir la carga de una batería valiéndose de la botella electrométrica de Lane, se puede operar de dos modos distintos: 1.° Aislando la batería, haciendo comunicar su armadura interna con el aparato productor de electricidad y la externa con el boton *a* del electrómetro y poniendo en comunicacion con el suelo el boton *b* así como la armadura exterior de la botella. A medida que la batería se carga de electricidad positiva, su armadura exterior la adquiere negativa, y la botella de Lane recibe electricidad positiva. 2.° Aislando la botella de Lane cuyo boton *a* se pone en comunicacion con el manantial, y el boton *b* en contacto con el interior de la batería cuya armadura comunica con el suelo.

VI

EFECTOS DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS

Cuando un cuerpo está cargado de electricidad, se le puede volver al estado natural de dos modos: ó poniéndole en comunicacion con el depósito comun, la tierra, por el intermedio de un cuerpo conductor, verbigracia un alambre; en cuyo caso la electricidad del cuerpo pasa por aquel espontáneamente, y el fenómeno que entónces ocurre lleva el nombre de *descarga conductiva*, que le ha aplicado Faraday; ó bien se le descarga acercando á su superficie electrizada otro cuerpo conductor, pero sin que haya contacto, y en este caso se efectúa la descarga en el medio aislador interpuesto, el aire, estallando una chispa, á lo cual se da el nombre de *descarga disruptiva*. Los efectos que resultan de estos dos modos de reduccion de la electricidad son muy variados, y en los experimentos anteriormente descritos hemos presentado muchos ejemplos de ellos.

Puédense clasificar los efectos de las descargas de electricidad estática en tres categorías principales: *efectos mecánicos y físicos*, *efectos químicos* y *efectos fisiológicos*, segun la naturaleza de los fenómenos que en cada caso se presentan; pero á veces sucede que estos ocurren simultáneamente.

Empecemos por los efectos mecánicos. En los experimentos del perfora-cartones y taladra vidrios hemos visto á la chispa atravesando cuerpos sólidos de poco espesor. En este fenómeno entra por más la *diferencia de potencial* (1) que la cantidad de electricidad. «Así es, dice M. Mascart, que se podrá taladrar una placa de vidrio de algunos milímetros lo mismo y áun más fácilmente con una sola botella que con una batería. Más convenientes son las chispas directas de una máquina eléctrica, porque son más largas; las chispas de una máquina de Holtz provista de sus botellas de condensacion dan mejor resultado, porque dichas botellas están colocadas en cascada; la diferencia de las potenciales es entónces muy notable y la cantidad de electricidad bastante grande.»

Tambien se consigue taladrar placas de muchos centímetros de espesor; pero hay que tomar precauciones para impedir que la chispa recorra la superficie de la placa contorneándola en vez de perforarla.

Van Marum ha hecho saltar en dos pedazos un cilindro de vidrio de 8 centímetros de diámetro y otros tantos de altura: habia hecho penetrar en las bases las dos puntas del excitador que enlazaba los polos de una batería de 15 metros cuadrados de superficie.

Un efecto mecánico bastante singular obser-

---

(1) Para dar una idea clara y concisa de esta expresion, lo mejor que podemos hacer es copiar su definicion del *Tratado experimental* de Gordon, que hemos citado varias veces:

«Siempre que la electricidad pasa ó tiende á pasar de una posicion á otra dícese que hay *diferencia de potencial* entre ambas posiciones.

»Dícese que la posicion de *donde* la electricidad tiende á alejarse tiene una potencial más alta que la otra.

»Supongamos que cierta cantidad de electricidad pasa de un punto á otro; entónces *la diferencia de potencial, ó lo que tambien se llama fuerza electro-motriz entre ambos puntos, es una cantidad que representa la suma de trabajo que cada unidad de electricidad desarrollaría en su trayecto si se pudiera utilizar todo este trabajo aplicándolo á una máquina perfecta cuya potencia motriz formara.*

«La diferencia de potencial se calcula de este modo: supongamos que se obliga á una unidad de electricidad á desviarse en direccion opuesta de aquella á la que tenderian á arrastrarla las fuerzas eléctricas; el *trabajo mecánico* necesario para este efecto deberá proporcionarlo un hombre, una máquina de vapor, ó cualquiera otra fuerza.

«*Defínese la diferencia de potencial entre dos puntos diciendo que es numéricamente igual á la suma de trabajo necesario para obligar á una unidad eléctrica á trasladarse de un punto á otro, en direccion opuesta á la que tiende á seguir.*»

vado por vez primera por Nairne y estudiado en seguida por M. E. Becquerel, es la contraccion ó encogimiento que produce la descarga de una batería en el alambre atravesado por ella; en cambio, aumenta un tanto el diámetro de aquel. Si la descarga pasa entre dos cuerpos metálicos, por ejemplo entre el boton de laton de una botella de Leyden y una placa de plata, deposita en esta una mancha amarilla, debida al trasporte de partículas desprendidas del boton. ¿No coincidirá este trasporte con la volatilizacion del metal que resulta de la elevacion de temperatura producida por la chispa?

Esta pregunta nos induce á decir algo acerca del calor que suscita la descarga eléctrica, lo mismo la conductiva que la disruptiva.

Cuando se hace pasar la descarga de una batería al través de un hilo conductor, este se calienta; pero la elevacion de temperatura depende de la resistencia que presenta al paso de la electricidad, cuya resistencia depende á su vez de las dimensiones del hilo y de la naturaleya del metal que lo constituye. En una misma descarga eléctrica, la cantidad de calor desprendida es proporcional á la longitud del hilo y está en razon inversa de su seccion. Aquí suponemos que los hilos sean de la misma naturaleza; pero si se emplean hilos de diferentes metales, se nota que la elevacion de temperatura está en razon inversa de la densidad del metal y de su calor específico (1). Si el hilo metálico es bastante fino y la fuerza de la batería grande, puede llegar la temperatura hasta á fundir el hilo y volatilizarlo. Ya hemos visto más arriba cómo se hace el experimento valiéndose del excitador universal (fig. 97), y tambien hemos indicado varios de los efectos obtenidos empleando hilos de distintos metales. Añadamos ahora que se ha aprovechado esta propiedad de las descargas eléctricas para medir sus potencias comparativas, habiéndose visto que el límite de longitud que un hilo debe tener para llegar á la temperatura de la fusion sin pasar de ella es proporcional al cuadrado de la carga y está en razon inversa de la superficie de la batería. No todos los metales son buenos para estos experimentos: el laton, por ejemplo, no conviene, porque se ablanda mucho ántes de llegar al punto de fusion completa. En cambio el hierro y el acero son excelentes porque ámbos se deshacen en gotitas tan luégo como llegan á la temperatura de fusion. Citaremos, tomándolo de Mascart, un ejemplo de comprobacion de la ley que acabamos de enunciar. «Si se carga una batería, dice, por medio de una botella de Lane y se regula la distancia explosiva de esta botella de modo que la batería cargada por 50 chispas sea capaz de fundir 25 centímetros de alambre de hierro de $0^{mm},1$ de espesor, se comprobará que las cargas sucesivas de 40, 30, 20 y 10 chispas son capaces de fundir exactamente longitudes del mismo alambre iguales á 16, 9, 4 y 1 centímetros.» Así pues, la longitud límite de un mismo hilo es proporcional á los cuadrados de las cargas de la batería.

La produccion de luz que acompaña á las descargas disruptivas es uno de los efectos físicos más interesantes de la electricidad. Las variadas formas que presenta el fenómeno, los fulgores, penachos, chispas, su duracion, longitud é intensidad, los colores que toman en los diferentes medios, merecen estudio aparte que requerirá capítulo especial, cuando hayamos enumerado los distintos modos que tiene la electricidad de producirse. Aquí sólo nos proponemos tratar de algunos de los efectos físicos que acompañan á la luz eléctrica.

Cuando la chispa eléctrica se produce al contacto ó cerca de una materia combustible, puede inflamarla. Los físicos del siglo pasado hicieron muchos experimentos sobre este punto. En el artículo IV hemos visto que tambien puede inflamar alcohol y éter; asimismo se consigue encender una bujía apagada cuando el pábilo despide humo todavía, ó producir la explosion de un cebete. Para que este último experimento salga

(1) Se puede clasificar á este efecto los metales en una serie en la que, tomando uno de ellos, verbigracia el platino, por unidad, cada metal esté caracterizado por cifras que indiquen su resistencia específica, su coeficiente de calefaccion y su resistencia á la fusion. El cuadro siguiente es el resultado de los experimentos hechos con tal objeto por M. Riess:

Metales	Resistencia específica	Coeficiente de calefaccion	Resistencia á la fusion
Cobre.	0'1552	0'1133	4'893
Plata.	0'1045	0'1267	3'946
Oro.	0'1746	0'2112	2'960
Hierro. . . .	0'8789	0'7080	1'059
Platino. . . .	1	1	1
Nickel. . . .	1'180	0'8727	0'916
Cadmio. . . .	0'4047	0'58	0'310
Estaño. . . .	1'053	1'57	0'072
Plomo.: . . .	1'503	2'876	0'058

bien, es menester adoptar ciertas precauciones, á no ser que la chispa proceda de una fuerte descarga, por ejemplo, de la de una batería. Mézclase la pólvora con otro cuerpo combustible pero mal conductor, como resina en polvo ó alcanfor: el calor que resulta del aumento de resistencia basta entónces para inflamar la pólvora, que se puede poner tambien en un cartucho de papel, entre dos puntas metálicas puestas cada una de ellas en comunicacion con una de las armaduras de la botella de Leyden.

La chispa eléctrica da orígen á fenómenos químicos, ya sean combinaciones de gases, ó bien descomposiciones de compuestos binarios ó de disoluciones salinas. Un experimento hecho

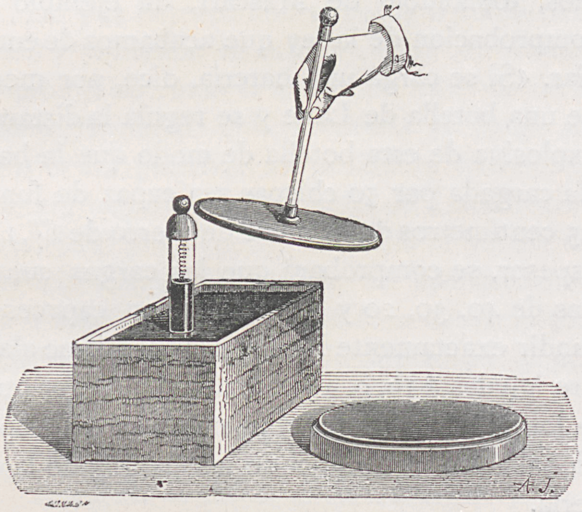


Fig. 107.—Eudiómetro de mercurio

por Cavendish en 1784 demostró por vez primera que el *aire inflamable* ó hidrógeno se combina con el oxígeno del aire para formar el agua. Hoy se reproduce este experimento en los laboratorios de química con un aparato que lleva el nombre de *eudiómetro*. La fig. 106 representa el eudiómetro de mercurio, el cual se compone de una probeta formada por una guarnicion metálica que termina en un boton de metal tambien. Despues de llenar la probeta de mercurio, se la vuelca en una cuba llena del mismo líquido, y se introducen en ella sucesivamente dos volúmenes de gas oxígeno y otros dos de hidrógeno. Una espiral de hierro atraviesa el mercurio de la probeta yendo á parar junto al boton metálico. Dispuesto todo de tal suerte, se acerca á este último el platillo de un electróforo y del interior de la mezcla gaseosa brota una chispa. El mercurio sube por la probeta y deja un volúmen de gas que se reconoce ser oxígeno puro. Los dos volúmenes de hidrógeno se han combinado con uno de oxígeno para formar agua, la cual se ha depositado en estado de vapor en las paredes interiores de la vasija.

La chispa eléctrica no hace más que producir, en la capa de gas en que estalla, la suficiente elevacion de temperatura para causar la inflamacion, es decir, la combinacion química de dicha capa. El calor de esta combinacion se propaga á las capas vecinas, y la mezcla entera sufre la misma accion; mas para esto es preciso que la proporcion de los gases sea conveniente. En concepto de Humboldt y de Gay-Lussac, no habria inflamacion en la mezcla detonante, si el oxígeno estuviese en exceso en la proporcion de 14 contra 3.

Entre los ejemplos de combinaciones químicas producidas por mediacion de la chispa eléctrica citemos la obtenida por Berthellot, el cual ha reproducido el ácido cianhídrico haciendo pasar una serie de descargas por una mezcla de nitrógeno y de acetilena.

Del propio modo se descomponen ciertas combinaciones, como los óxidos metálicos, varios ácidos y gran número de gases compuestos. El sulfuro de mercurio, los óxidos de plomo, zinc, estaño y bismuto, el ácido carbónico, la acetilena, el óxido de carbono, los ácidos clorhídrico é hiponítrico, y el amoniaco se descomponen en sus elementos cuando se les atraviesa con series de descargas ó chispas eléctricas. En todos estos fenómenos, debe atribuirse la separacion de los elementos químicos al calor desprendido por la chispa. Pero tambien se ha demostrado que, aparte de esta accion, las dos electricidades positiva y negativa ejercen una influencia especial, análoga á la que es peculiar de las corrientes voltaicas, segun veremos más adelante.

Como último ejemplo de efecto químico producido por las descargas eléctricas, haremos mencion del *ozono*, nombre dado al gas oxígeno electrizado. Hace cuarenta y dos años que el químico suizo Schonbein reconoció en el oxígeno electrizado propiedades características que posteriormente han sido objeto de importantes estudios. El ozono despide un olor muy fuerte, nauseabundo y parecido al que hacia largo tiempo se habia notado en los sitios en que

caia un rayo. Respirado en cantidad algo regular, irrita las mucosas de los bronquios y ocasiona esputos de sangre. El ozono oxida la mayor parte de los metales, descompone los colores orgánicos, inflama el fósforo y descompone tambien el ioduro de potasio (1); pero cuando seco, tiene las mismas propiedades oxidantes que el oxígeno comun. «Merced á los caractéres del ozono, dice M. Mascart, es fácil comprobar su presencia en muchos experimentos de electricidad. Los penachos que se desprenden de los conductores, las descargas de las baterías, etc., producen ozono, y cuando se ha hecho cierto número de experimentos de electricidad en una habitacion cerrada, se percibe muy pronto ese olor de azufre que dimana de una pequeña cantidad de ozono.» Vese pues que antes del descubrimiento de Schonbein los observadores habian reconocido la presencia de un agente característico. Van Marum creia que este olor era el de la materia eléctrica; Franklin veia en él una analogía más entre la electricidad desarrollada en las máquinas y la electricidad atmosférica.

Uno de los efectos más dignos de estudio de cuantos produce la electricidad, es su accion sobre una aguja de acero situada cerca de ella. Puede comunicarle la virtud magnética si se halla en estado neutro, ó si la aguja está imantada puede invertir ó cambiar sus polos. Franklin fué el primero que inventó este medio de imantar barritas de acero, para lo cual se valia de una botella de Leyden. Kinnersley hizo pasar en cierta ocasion una descarga eléctrica por un alambre, y vió que la aguja imantada oscilaba sobre su eje en el momento en que el flúido atravesaba el alambre. Estos hechos no adquirieron verdadera importancia hasta que en 1820 el físico sueco Œrstedt descubrió la influencia de las corrientes voltaicas en la aguja imantada. Más adelante estudiaremos estos hechos que han enriquecido la ciencia con una rama nueva, el ELECTRO-MAGNETISMO.

Para terminar este artículo, réstanos describir los efectos fisiológicos de la electricidad, ó sea los fenómenos que ocurren cuando se hace pasar el flúido á través del cuerpo del hombre ó del de los animales.

Ya hemos indicado algo acerca de la violenta sacudida que produce la descarga de una botella de Leyden, la cual se siente principalmente en las articulaciones del brazo y de la muñeca, de las corvas y de los piés. Cuando muchas personas hacen la cadena, no hay diferencia apreciable en la fuerza de la conmocion experimentada por unas y otras; siendo tan viva para las situadas en medio como para las que tienen asidos, en los extremos, las armaduras de la botella. Con todo, no sucede lo mismo cuando el número de aquellas es algo crecido; pero en este caso es probable que la diferencia de intensidad dimane de cierta pérdida de electricidad causada por falta de aislamiento.

Con una botella de Leyden se matan fácilmente animales pequeños, como pájaros. Pero la sensibilidad no depende solamente del volúmen del cuerpo ó del tamaño del animal; pues las especies de sangre fria, como los reptiles y batracios, resisten descargas mucho más fuertes que las de sangre caliente.

Singer da interesantes detalles sobre la impresion que se siente segun que la descarga atraviesa esta ó la otra parte del cuerpo: «El flúido eléctrico, dice, parece actuar poderosamente en los nervios, y cuando una conmocion atraviesa alguna parte del cuerpo, siguiendo su trayecto, ocasiona por lo regular graves accidentes. Cuando la descarga de una batería pasa á través de la cabeza de un pájaro, casi siempre resultan lastimados ó destruidos los nervios ópticos, asegurándose que si se hace el experimento en un animal mayor, le sobreviene una postracion general de fuerzas acompañada de temblor. En cierta ocasion recibí por un descuido en la cabeza la carga de una fuerte batería; la sensacion que experimenté fué una conmocion violenta y general, que me hizo perder momentáneamente la conciencia de mí mismo y me anubló la vista, pero este accidente fué pasajero. Segun M. Morgan, si el diafragma se halla situado en el camino que debe seguir el flúido fuertemente acumulado en una superficie armada de dos piés cuadrados, los pulmones hacen un esfuerzo violento, y se lanza un

(1) El ozono pone azul un papel de tornasol rojo impregnado de ioduro de potasio, al paso que no ejerce accion decolorante en un papel de la misma clase que no contenga ioduro. M. Houzeau ha deducido de esta propiedad un método para dosificar la cantidad de ozono que contiene el aire atmosférico.

grito penetrante; pero cuando la carga es pequeña, casi siempre produce ganas de reir, y hasta las personas graves y flemáticas que no pierden su seriedad ni aún en las circunstancias más dignas de risa, rara vez resisten el poder *cómico* de la electricidad. Una descarga fuerte ocasiona en el diafragma un efecto seguido con frecuencia de suspiros, lágrimas involuntarias, y hasta desmayos. Si la conmocion atraviesa la columna vertebral debilita los miembros inferiores en tales términos que si la persona que la sufre está de pié, suele caer de rodillas y á veces de espaldas.

»Como la corriente eléctrica puede ocasionar accidentes más ó ménos graves, sobre todo si se hace de ella un uso inmoderado, hay que ser muy precavido en esta clase de experimentos, áun cuando se hagan por recreo y distraccion. Sin embargo, parece que no es de temer ningun resultado desagrable, cuando el choque se dirige al brazo.»

Las baterías de gran superficie son peligrosas para el hombre y para los animales. Dícese que la del museo Teyler, en Harlem, es bastante poderosa para matar un buey. «La energía de la sacudida excitada en un sér viviente, dice M. Mascart, crece con la diferencia de potencial de los dos conductores puestos en relacion, y sobre todo con la cantidad de electricidad. Por esto se puede recibir impunemente chispas de 20 á 30 centímetros dadas por una máquina ordinaria de disco y áun por un carrete de induccion, al paso que puede ser fulminante la descarga de una batería que produzca solamente chispas de unos cuantos milímetros. Del propio modo, á masa eléctrica igual, la descarga de una cascada da una sacudida más violenta que la de una sola botella. Parece pues resultar de estas indicaciones generales que la sacudida fisiológica varía en el mismo sentido que la energía eléctrica de la descarga. Hay sin embargo otra circunstancia que desempeña un papel muy importante, y es la duracion del fenómeno: la sacudida es muy débil cuando se descarga una batería por el intermedio de una cuerda mojada; puede ser soportable cuando se tocan con las manos bien secas las dos armaduras de la misma batería, y es notablemente enérgica si se mojan las manos para hacerlas más conductoras.»

La influencia fisiológica de la electricidad, ya se la aplique en forma de descargas disruptivas, con produccion de chispas aisladas ó sucesivas, ó bien en forma de corrientes continuas, exigiria largos y minuciosos detalles que holgarian en este sitio.

Cuando tratemos de los aparatos de electricidad médica, volveremos á ocuparnos de este asunto. Posteriormente al abate Nollet, han estudiado muchos sabios esta cuestion que requiere profundos conocimientos en Física y una competencia especial en Biología.

CAPÍTULO VI

LA PILA

I

EXPERIMENTOS DE GALVANI.—DESCUBRIMIENTOS DE VOLTA

En todos los experimentos que hasta ahora hemos descrito, el manantial único de la electricidad desarrollada en la superficie de los cuerpos es una accion mecánica, la frotacion. Era tambien el único que se conocia á fines del pasado siglo, cuando una feliz casualidad reveló de pronto á los físicos un nuevo medio de producir el misterioso agente, dando lugar á una serie de descubrimientos del mayor interés, así por lo que respecta á la ciencia pura como á sus aplicaciones prácticas. Dos grandes nombres van unidos al orígen de este movimiento que tanto ha hecho progresar la ciencia de la electricidad: los de Galvani y Volta.

Galvani, sabio médico y profesor de anatomía en la universidad de Bolonia, hallábase en su laboratorio, cierta tarde del año 1780, ocupado con varios amigos en hacer experimentos relativos al flúido nervioso de los animales. Por casualidad, habia en una mesa, juntamente con una máquina eléctrica que servia para los

experimentos, algunas ranas recien desolladas y destinadas para hacer caldo; uno de los ayudantes de Galvani «acercó por distraccion la punta de un escalpelo á los nervios crurales internos de uno de aquellos animales, y al punto parecieron agitados de violentas convulsiones todos los músculos de los miembros. La esposa de Galvani estaba presente; y llamándole la atencion la novedad del caso, creyó notar que era simultáneo del desprendimiento de la chispa eléctrica.» (P. Sue, *Historia del Galvanismo.*) Al punto advirtió de ello á su marido, el cual se apresuró á comprobar tan curioso fenómeno, y reconoció que, en efecto, las contrac-

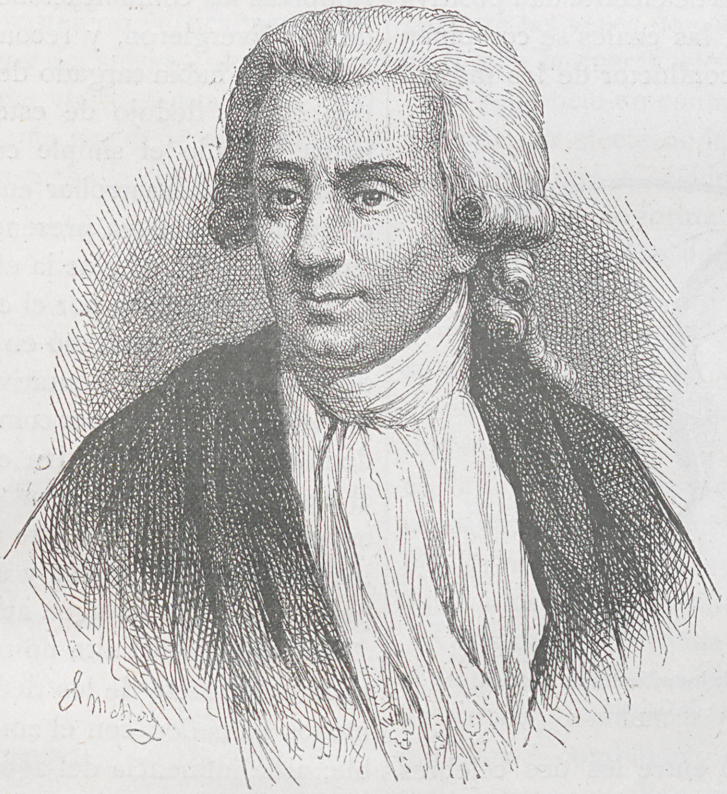


Fig. 108.—Galvani

ciones musculares de la rana sobrevenian siempre que se sacaba una chispa, y cesaban cuando la máquina estaba en reposo.

Esta observacion fué para el médico bolonés el punto de partida de muchos experimentos, mediante los cuales trató de probar la identidad del flúido nervioso de los animales y de la electricidad. En 1786 continuaba aún dedicado á estas investigaciones. Queriendo un dia ver si la influencia de la electricidad atmosférica en los músculos de las ranas era la misma que la de la electricidad producida en las máquinas, colgó cierto número de ellas desolladas en la baranda de la azotea de su casa, ligando á los hierros los miembros inferiores de dichos animales con un alambre de cobre que pasaba por debajo de los nervios lumbares. Galvani observó con sorpresa que siempre que las patas de las ranas tocaban la baranda, se contraian sus miembros con fuertes convulsiones, aunque en aquel momento no se notaba el menor indicio de nube tempestuosa, ni por consiguiente influencia eléctrica de la atmósfera.

Estos hechos sugirieron á Galvani la idea de que existia una electricidad peculiar á los animales, inherente á su organizacion; que esta electricidad, segregada por el cerebro, reside especialmente en los nervios, los cuales la comunican al cuerpo entero; que «los depósitos principales de esta electricidad animal son los músculos, cada una de cuyas fibras puede considerarse con dos superficies, y dotada por este medio de las dos electricidades positiva y negativa, y haciendo además las veces, por decirlo así, de una botella de Leyden, cuyos conductores son los nervios.» En virtud de esta teoría, asimiló las contracciones musculares observadas en las ranas y otros animales á las conmociones que produce la descarga de una botella de Leyden.

Alejandro Volta, á la sazon profesor en Pavía, reprodujo los experimentos de Galvani, pero no tardó en modificar sus explicaciones. En su concepto, la electricidad desarrollada era de la misma naturaleza que la que producen los aparatos eléctricos, y el contacto de los metales heterogéneos el que producia la electricidad, cargándose uno de ellos de electricidad positiva y de negativa el otro, las cuales se combinan al atravesar el medio conductor de los músculos y de los nervios.

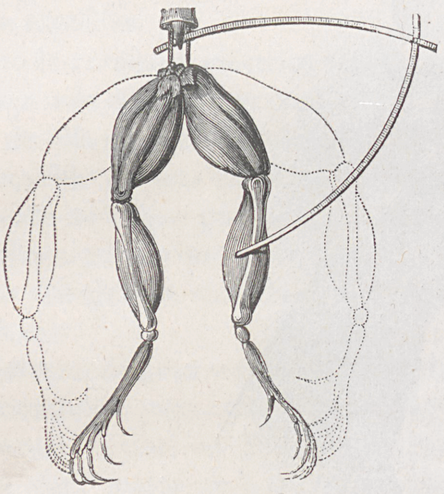


Fig. 109.—Contraccion de los músculos de una rana. Experimento de Galvani

Entónces se entabló entre los dos célebres físicos una discusion honrosa para ambos, y sobre todo provechosa para la ciencia, que se enriqueció con multitud de hechos nuevos. La invencion del maravilloso aparato que recibió el nombre de pila de Volta, hizo prevalecer por fin la teoría del profesor de Pavía, aun cuando se tenga en parte por verdadera la hipótesis de Galvani sobre la existencia de la electricidad animal, y se hayan modificado sobremanera las ideas de Volta. Pero no es este el lugar á propósito para historiar la competencia de la lucha que acabamos de recordar y de las prolijas investigaciones anejas á ella; por lo cual nos limitaremos á describir los principales fenómenos que se relacionan con esta rama de la electricidad y á exponer las explicaciones que hoy se dan de ellos.

Acabamos de ver que Volta creia que bastaba el contacto de dos metales diferentes para desarrollar electricidad. Con objeto de estudiar las circunstancias de este desarrollo, discurrió un electroscopio más sensible que el de hojas de oro, y que es el que dejamos descrito en el capítulo anterior. Cogiendo entónces una placa compuesta de dos pedazos de cobre y zinc soldados uno á otro, puso el cobre en contacto con uno de los platillos del condensador, y el otro platillo en comunicacion con el suelo aplicándole al efecto un dedo. Apénas quedaron interrumpidas las comunicaciones, las hojas ó panes de oro divergieron, y reconoció que el platillo inferior se habia cargado de electricidad negativa. Volta dedujo de este experimento que habia bastado el simple contacto de los dos metales para desarrollar en el cobre la electricidad negativa cuya presencia indicaba el electrómetro, y en el zinc la electricidad positiva que pasaba á tierra por el cuerpo del observador. Lo que le confirmó en esta idea, fué que despues de muchas tentativas, infructuosas en un principio, acabó por comprobar la existencia de la electricidad positiva en el zinc, tocando el platillo del aparato con este metal; verdad es que para conseguir este resultado tuvo que interponer entre el zinc y el cobre un trozo de paño empapado en agua acidulada.

En todo esto Volta no tenia en cuenta para nada el contacto de los dedos, siempre más ó ménos húmedos, con el zinc, metal muy oxidable; ni la influencia del agua acidulada sobre el mismo metal, en el segundo experimento. A pesar de esto, supuso que el contacto de dos metales diferentes y, en general, de dos cuerpos heterogéneos, ocasiona el desarrollo de una fuerza á la que dió el nombre de *fuerza electromotriz*, porque impide la combinacion de las electricidades opuestas producidas en cada uno de dichos cuerpos por el contacto de sus superficies. Aunque hoy tengamos por inexactas ó cuando ménos por incompletas estas miras teóricas, el hecho que con ellas se proponia explicar era real y positivo, y sugirió al ilustre físico la construccion de un aparato considerado justamente como el descubrimiento capital de las ciencias físicas en los tiempos modernos. Nos referimos á la pila que lleva su nombre, á la *pila de Volta*, ideada en el año 1800.

Hé aquí en qué consiste este aparato, tan sencillo como maravilloso.

Dos discos superpuestos, uno de cobre y otro de zinc, forman lo que Volta llamaba un *par electromotor*. Colócanse varios de estos pares

unos sobre otros de modo que los dos metales estén siempre situados por el mismo órden, el cobre abajo y el zinc arriba por hipótesis. Además se separan dos pares cualesquiera con rodajas de paño, empapadas en agua acidulada en la que se han echado además algunas gotas de ácido sulfúrico. El conjunto de estos pares, con los que se forma una columna cilíndrica ó pila (fig. 111), está sostenido verticalmente por tres cilindros macizos de vidrio y descansa en un disco aislador de vidrio tambien, el cual reposa á su vez en una peana de madera. Tal es la pila, como á la sazon la construia Volta y

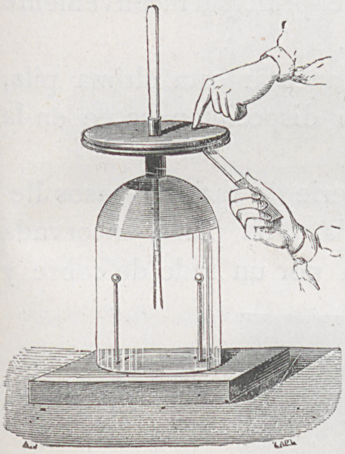


Fig. 110.—Condensador de Volta: experimento sobre la electricidad de contacto

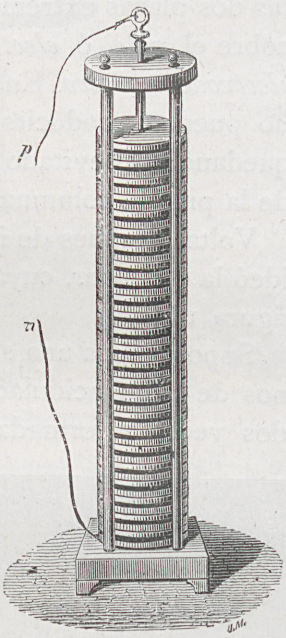


Fig. 111.—Pila de Volta ó de columna

que despues ha sufrido muchas modificaciones de las que nos ocuparemos á continuacion. Véase ahora cuáles son sus propiedades.

Cada par se carga de electricidad de un extremo á otro de la columna cilíndrica, electricidad positiva en el zinc y negativa en el cobre, de lo cual es fácil cerciorarse con un electrómetro condensador. Pero la tension eléctrica varía segun la distancia de cada par á los dos extremos de la pila; en medio, aquella es nula; á partir de aquí, la negativa va creciendo hasta el par inferior, y la positiva tambien hasta el superior. Cuanto mayor sea el número de elementos ó pares, más considerables son las tensiones de la electricidad en los dos extremos de la pila.

En la construida por Volta tal como acabamos de describirla, un disco de cobre forma la extremidad inferior, al paso que la superior termina en uno de zinc. Uno y otro quedaron suprimidos en las pilas de columnas que se fueron construyendo posteriormente. Volta creia que el verdadero par electromotor lo constituia la union de los dos metales puestos en contacto, y que la rodaja de paño hacia solamente las veces de conductor. Hoy está probado que la fuerza electromotriz tiene orígen en la superficie de contacto del paño húmedo y del zinc por efecto de la combinacion química del metal con el ácido; por consiguiente, el verdadero par lo forma el zinc y el cobre separados por el líquido de que está empapado el paño. Son inútiles pues el disco de cobre del extremo inferior y el de zinc del superior, y en su consecuencia se los suprime. Pero despues de esta supresion, las tensiones eléctricas continúan distribuidas como lo estaban ántes, esto es, la tension es negativa en el zinc inferior y positiva en el cobre superior, de lo cual proceden los nombres de *polo positivo* y *polo negativo* dado á los extremos zinc y cobre de la pila.

Construida y cargada la pila de este modo, si se ponen en comunicacion los dos polos con un cuerpo conductor, las dos electricidades opuestas se combinan y en el momento del contacto ocurre una descarga. Tocando por ejemplo el polo positivo con una mano y el negativo con la otra, se siente una conmocion parecida á la que causa la botella de Leyden, y si se prolonga el contacto, se experimenta en las manos una sensacion particular de calor y cosquilleo (1). Si se reunen ambos polos con dos alambres soldados, uno al cobre y otro al zinc, brota una chispa en el instante en que se tocan

(1) «La sensacion que se nota al hacer experimentos con la pila, dice P. Sue en su *Historia del Galvanismo*, se asemeja al efecto de una carga débil en una gran batería eléctrica. Su accion es tan tenue, que su influencia no puede atravesar la piel seca. Es preciso pues mojar una porcion de cada mano, y luego cogiendo con cada una de ellas una pieza de metal, tocar las partes superior é inferior de la pila, ó los conductores que comunican con sus dos extremos. Tambien se puede introducir estos conductores en dos vasos de agua separados, en los que se mete un dedo de cada mano. La conmocion será tanto más fuerte cuanto mayor sea el número de las piezas puestas en contacto. Veinte de estas producen un choque que se siente en los brazos cuando se toman las precauciones convenientes. Con cien, se le siente en los hombros. La corriente de electricidad actúa sobre el sistema animal miéntras este continúa formando parte del circuito, y si se tiene la más insignificante grieta ó desolladura en las extremidades con que se toca la pila, se experimenta en ella una sensacion tan dolorosa que apénas puede soportarse»

los hilos; tras cuya descarga parcial, vuelve á cargarse la pila, y se pueden reproducir largo tiempo los mismos fenómenos. La propiedad que tiene la pila de desarrollar electricidad de una manera continua es lo que caracteriza á tan precioso aparato, produciendo los variados efectos que más adelante describiremos.

II

DIFERENTES FORMAS DE LA PILA DE VOLTA

Se han dado á la pila de Volta formas muy variadas, discurridas con el objeto de hacer su uso más cómodo y sobre todo de aumentar su

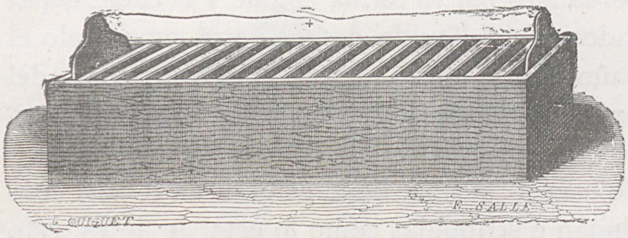


Fig. 112.—Pila de artesa

energía. La primitiva pila de columna perdia en breve esta energía á causa de escaparse el líquido que iba goteando por efecto del peso de los elementos, dando por resultado que se secaban los pedazos de paño cuyo poder conductor disminuia. Además, su montaje era pesado y su manejo poco cómodo, de suerte que muy en breve se juzgó necesario modificar su disposicion, por lo cual se idearon pilas de distintas formas; mas el principio de cuantas vamos á describir es el mismo que el de la de Volta.

La *pila de artesa* (fig. 112), inventada por Cruikshank se compone de placas de zinc y cobre soldadas y puestas paralelamente en una caja rectangular de madera. Los elementos, aislados por un mastic de resina, están separados por huecos que se llenan de agua acidulada cuando se quiere hacer funcionar la pila, reuniendo los dos hilos metálicos que parten de las dos placas extremas y formando siempre el cobre el polo ó *electrodo positivo* y el zinc el *electrodo negativo*. En virtud de esta disposicion, no pueden producirse corrientes secundarias, quedando así evitado el principal inconveniente de la pila de columna.

Volta, despues de inventar esta última pila, ideó la de *tazas*, cuya disposicion se ve en la figura 113.

Supongamos una serie de tazas ó vasos llenos de agua acidulada. Una placa, encorvada dos veces, y formada por un lado de cobre y

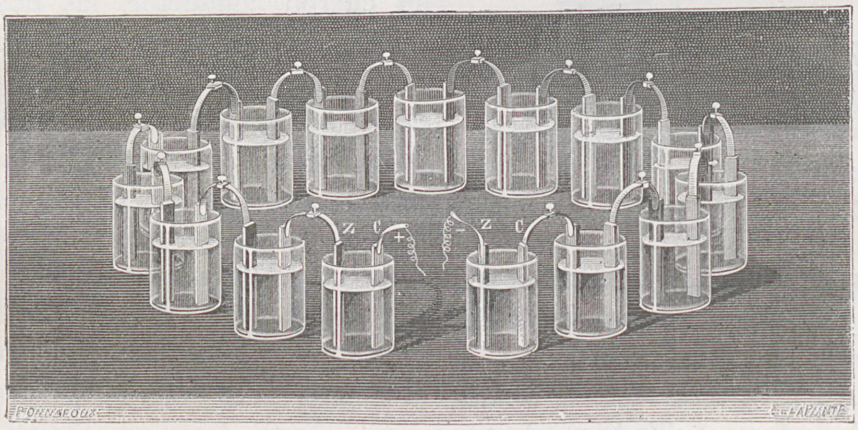


Fig. 113.—Pila de corona ó de vasos

por otro de zinc, penetra por cada uno de sus extremos en el líquido de dos vasos adyacentes, de suerte que en cada uno de estos hay una plancha de cobre y otra de zinc. Reuniendo con dos hilos metálicos ó *reóforos* las dos planchas de los últimos vasos, se tiene la pila de tazas, designada tambien con el nombre de *pila de corona*, porque generalmente se ponen sus elementos formando círculo, como se ve en la figura 113.

Wollaston ha discurrido la disposicion siguiente: cada placa rectangular de cobre está doblada de modo que rodea la de zinc por sus dos caras, estando separada de ella arriba y abajo por cilindros de madera (fig. 114). En la parte superior del zinc hay soldada una tira de cobre que, doblándose dos veces en ángulo recto, va á reunirse con la placa de cobre del elemento inmediato. Finalmente, todas las tiras semejantes están fijas en un travesaño de madera, pudiéndose así bajar ó subir como se quiera y á la vez todos los elementos. Debajo

de cada uno de estos hay situados unos vasos llenos de agua acidulada, y por lo tanto basta bajar el travesaño para que funcione la pila (figura 115). La principal ventaja de la pila de Wollaston consiste, además de la facilidad de su manejo, en la gran extension de la superficie de zinc que se halla en contacto con el ácido.

La pila de Muncke presenta las mismas ventajas que la de Wollaston, pero ocupa menor espacio por no necesitar más que un vaso separado por cada par. Está formada por una serie de planchas de zinc y cobre dobladas en forma de U y rodeándose unas á otras segun se ve en la fig. 116, que representa una seccion horizontal de las placas. Toda ella está sostenida, por encima y por debajo, por un marco de madera que se sumerge en una artesa llena de agua acidulada cuando se quiere hacer funcionar la pila.

En vez de multiplicar los pares ó elementos, es á veces ventajoso aumentar su superficie; obteniéndose así grandes cantidades de electricidad con poca tension. La pila en hélice, del

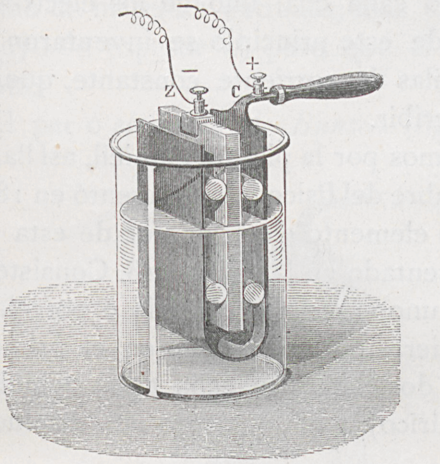


Fig. 114.—Par suelto de Wollaston

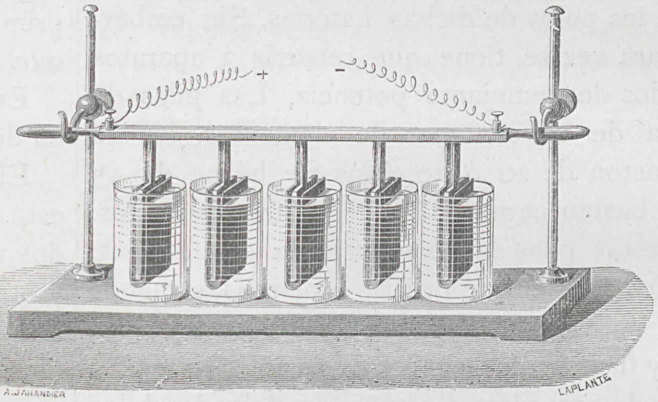


Fig. 115.—Pila de Wollaston

físico americano Hare, llena este objeto. Consiste en dos tiras largas y anchas de cobre y zinc, enrolladas á la vez en un cilindro de madera, pero estando siempre aisladas dos espiras consecutivas de los dos metales por varillas de madera ó pedazos de paño. Todo ello va metido en un cubo lleno de agua acidulada (fig. 117). Pouillet hizo construir para la Facultad de ciencias de Paris, pilas en hélice del sistema Hare, componiendo cada par de elementos de cinco á seis metros cuadrados de superficie. «Uno solo de estos pares, dice, basta para producir efectos químicos muy enérgicos y cuando se reunen tan sólo 20 pares iguales, se tiene una batería de extraordinaria potencia para caldear y licuar instantáneamente, no ya alambre, sino verdaderas barras de metal.» Hare habia mandado construir una batería tan poderosa, que la bautizó con el nombre de *deflagrator*.

Las pilas que acabamos de describir, ú otras que tienen análogas disposiciones, han sido largo tiempo las únicas conocidas y usadas en las investigaciones científicas. Posteriormente se ha ideado un crecido número de otras nuevas, y en el artículo siguiente describiremos las más notables y usadas. Pero ántes daremos algunos detalles sobre las primeras y sus efectos.

Ya en 1806, la Sociedad Real de Lóndres poseia 2000 elementos del sistema de artesa, cada uno de los cuales tenia de 5 á 6 decímetros cuadrados de superficie. Con este aparato hizo Davy dos años despues el gran descubrimiento de la descomposicion de la potasa y de la sosa. Hácia la misma época, Gay-Lussac y Thenard mandaron construir una batería de 600 elementos de 9 decímetros cuadrados de superficie para la Escuela Politécnica, habiéndose servido de ella para sus numerosos é importantes trabajos de química. «Las máquinas eléctricas más poderosas, dice Pouillet, no se parecen en nada á tan formidables baterías. Bastaria establecer un momento con las manos la comunicacion entre los polos para caer muerto como por un rayo. Las varillas de platino de 5 ó 6 milímetros de diámetro y más de un metro de longitud puestas entre los polos se

ponen enteramente incandescentes y casi en fusion miéntras reunen dichos polos; los demás metales entran tambien en fusion ó en combustion, segun que sean más ó ménos conductores de la electricidad, y más ó ménos fusibles ú oxidables. Finalmente, no hay compuestos químicos conductores cuyos elementos no se des-

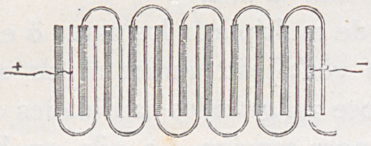


Fig. 116.—Pila de Muncke

unan rápidamente tan luégo como se los coloca entre los polos de dichas baterías. Sin embargo, rara vez se tiene que recurrir á aparatos dotados de semejante potencia. Las pilas de artesa de un centenar de elementos, las de Wollaston de 20 ó 30, ó las de hélice de 15 ó 20, bastan para dar idea de estos resultados. Con estas pilas las conmociones son débiles; siendo casi siempre preciso mojarse las manos para sentirlas. Los efectos físicos de combustion y fusion sólo se hacen ostensibles en ténues hojas de oro, plata ó estaño, en delgados hilos de platino de algunos centímetros de longitud, en alambres de hierro ó de acero de la misma dimension, etc. Los efectos químicos se producen tambien con menor intensidad.

III

PILAS DE CORRIENTE CONSTANTE

En todas las pilas que acabamos de describir, las corrientes, y los efectos producidos por ellas disminuian rápidamente de intensidad. Fácilmente se comprenden las causas de esta disminucion. Por una parte, el zinc se oxida descomponiendo parcialmente el agua y apoderándose de su oxígeno; el óxido formado de este modo se combina con el ácido sulfúrico contenido en la disolucion y origina la formacion de cierta cantidad de sulfato de zinc. Por consiguiente, á causa de esta accion química se altera el líquido de la pila, menguando su actividad y la corriente que engendra. Por otra parte, el hidrógeno del agua descompuesto se dirige á la superficie de la placa de cobre; las burbujas que en ella se depositan la recubren en breve de una capa continua de gas cuya menor conductibilidad dificulta el paso de la corriente. Sucede además que aumentando progresivamente el sulfato de zinc, deposita por efecto de la influencia de la corriente una capa de zinc en la placa de cobre, de suerte que esta no difiere al poco tiempo del electrodo negativo, y entónces acaba por desaparecer del todo la actividad de la pila.

M. Becquerel estudió estas causas de debilidad de las pilas así como el modo de obviarlas, y en 1829 recomendó el uso de dos líquidos diferentes separados por un cuerpo poroso y conteniendo cada cual uno de los electrodos. Partiendo de este principio se inventaron las primeras pilas de corriente constante, que vamos á describir.

Empecemos por la pila de Daniell, así llamada del nombre del físico que la inventó en 1836.

El par ó elemento electromotor de esta pila está representado en la figura 118. Consiste en dos vasos, uno exterior, de vidrio ó porcelana, y otro de tierra porosa, metido en el primero. Entre los dos vasos se echa agua acidulada (ácido sulfúrico), y en el poroso una disolucion

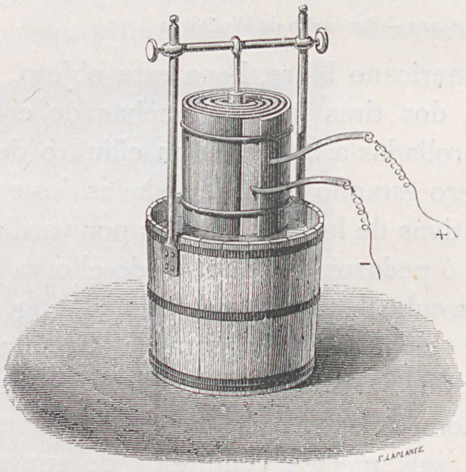


Fig 117.—Pila en hélice de Hare

saturada de sulfato de cobre. En el primer líquido se introduce una ancha placa de zinc amalgamado, de forma cilíndrica, y en el otro un cilindro de cobre. Véase ahora cómo ocurre el desarrollo de las dos electricidades en el cobre y el zinc:

El agua se descompone; su oxígeno ataca el zinc, y se forma óxido de zinc, que se combina con el ácido sulfúrico del vaso exterior; el zinc adquiere una tension eléctrica *negativa*. El hidrógeno del agua atraviesa el vaso poroso, ataca el sulfato de cobre, cuyo óxido se des-

compone; y se precipita el cobre en estado metálico sobre el cilindro del mismo metal, que adquiere una tension eléctrica *positiva*. Cada reaccion engendra una corriente, la primera del zinc al ácido, la segunda del cobre á la solucion que lo rodea. La fuerza electromotriz del elemento Daniell es la resultante de estas dos fuerzas opuestas. La corriente final no tiene gran energía, pero es sensiblemente constante, si se tiene cuidado de echar cristales de sulfato de cobre en el vaso poroso. El zinc y el cobre conservan sus superficies intactas, sin depósito alguno de materias extrañas; mas el zinc disminuye de espesor al paso que el cobre aumenta.

El par ó *elemento de Bunsen* (fig. 119) es parecido al de Daniell, sólo que el cilindro de cobre está reemplazado por uno de carbon de retorta, y la disolucion de sulfato de cobre por ácido nítrico. El par de Bunsen es preferible al de Daniell en cuanto á la energía de la corriente, pero es inferior á él por lo que respecta á la constancia de esta.

Reuniendo muchos pares semejantes por sus polos opuestos, se forman pilas de Daniell y de Bunsen, cuya energía es proporcional al número de elementos reunidos. Ambas pilas tienen su polo negativo en el zinc del último elemento, y el positivo en el último cobre en la pila de Daniell ó en el último carbon en la de Bunsen, como se ve en la fig. 120.

Grove habia construido anteriormente una pila que diferia de la de Bunsen en tener, en vez de carbon, una plancha de platino, metal muy costoso y que acaba por descomponerse. Era más enérgica que la de Bunsen, pero esta tenia la ventaja de ser más económica. Las pilas de Bunsen se usan mucho en los trabajos ó experimentos que requieren gran fuerza, pero tienen el grave inconveniente de producir desprendimientos de gases nocivos para la respiracion (ácidos nítrico é hiponítrico), de suerte que no se las puede emplear sino en sitios en que el aire se renueva fácilmente. La pila de Daniell, ménos enérgica, no adolece de este inconveniente; además posee una constancia que la hace preciosa, miéntras no se necesiten corrientes de gran intensidad, así es que se la usa mucho en la telegrafía eléctrica.

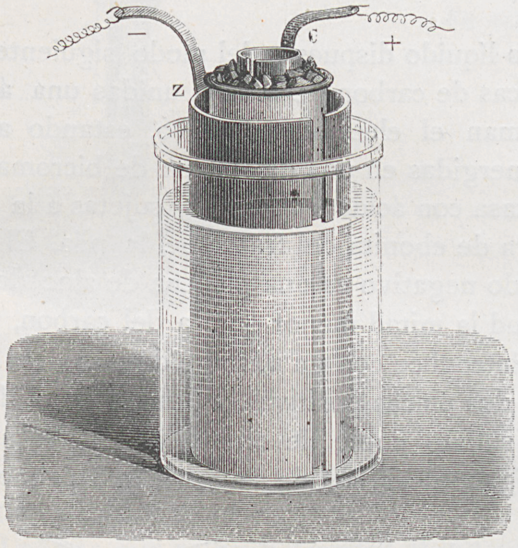


Fig. 118.—Elemento de la pila Dainell

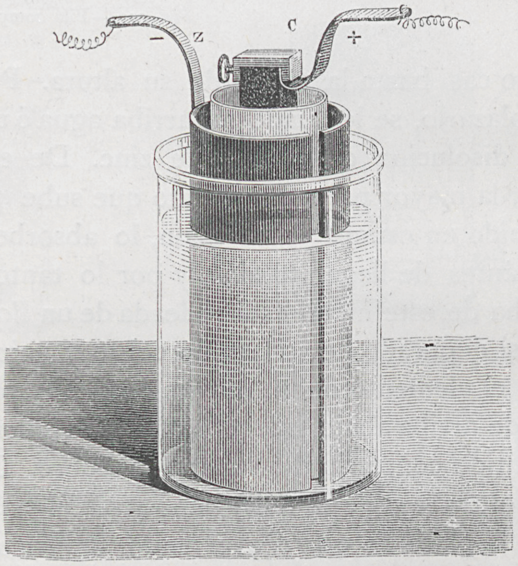


Fig. 119.—Elemento de la pila Bunsen

El físico inglés Sir W. Thomson, ha introducido hace algunos años una modificacion en el elemento Daniell. Véase en qué términos describe el profesor Clerk Maxwell esta modificacion, representada en la fig. 121: «El resultado final del elemento Daniell, sea cualquiera su forma, es que el sulfato de cobre ataca al zinc, lo cual deteriora la pila. Para retardar indefinidamente este resultado, W. Thomson ha dado á dicho elemento la forma siguiente: La plancha de cobre de cada uno de ellos está situada horizontalmente en el fondo, y se echa sobre ella una disolucion saturada de sulfato de zinc. La plancha de este último metal tiene la forma de parrilla, y á su vez está colocada horizontalmente sobre la superficie de la disolucion. En esta penetra además verticalmente

un tubo de vidrio cuyo extremo inferior toca la plancha de cobre. Introdúcense en él cristales de sulfato de cobre, los cuales al disolverse forman una disolucion de mayor densidad que la del sulfato de zinc solo, y que por tanto no puede llegar al zinc sino por difusion. Para retardar este fenómeno de difusion, hay un sifon, que consiste en un tubo de vidrio que tiene en su interior una mecha de algodon y uno de cuyos extremos está situado entre el zinc y el cobre y el otro en un vaso exterior al elemento, de suerte que aspira poco á poco el

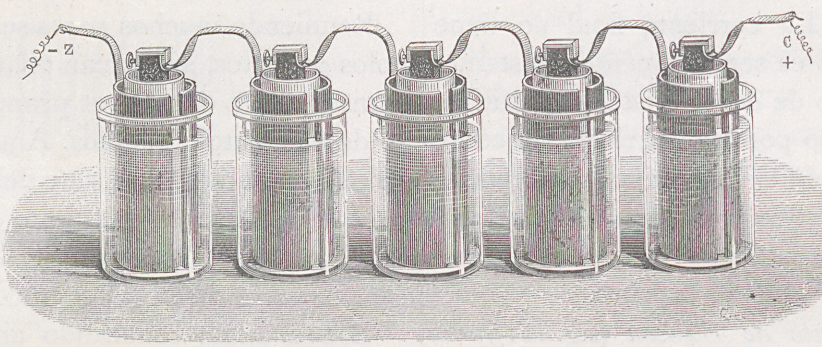


Fig. 120.—Pila compuesta de cinco elementos Bunsen

líquido casi hasta la mitad de su altura. Para reemplazarlo, se le añade por arriba agua ó una débil disolucion de sulfato de zinc. De este modo, la mayor parte del sulfato que sube por el líquido en estado de difusion, lo absorbe el sifon ántes de llegar al zinc, y por lo tanto la plancha de este metal está rodeada de un líquido casi depurado de sulfato de cobre y animado en el elemento de un movimiento muy pausado de arriba abajo, que retarda el movimiento en sentido contrario del sulfato de cobre. Durante el trabajo de la pila, depositase el cobre sobre la placa de cobre, y el ácido sulfúrico se dirige lentamente al través del líquido hácia el zinc, con el cual se combina formando sulfato de zinc. Así pues, el líquido del fondo pierde en densidad por el depósito de cobre, y el de encima la adquiere por la agregacion del zinc. Para impedir que esta accion cambie el órden de densidad de las capas y produzca en el vaso instabilidad y corrientes visibles, hay que cuidar de tener el tubo lleno siempre de cristales de sulfato de cobre, y de alimentar la pila por arriba con una solucion de sulfato de zinc bastante clara para que sea más ligera que cualquiera otra capa líquida que pueda haber en el elemento.» La pila que acabamos de describir es la llamada *pila de densidad* siendo fácil de comprender el motivo de esta denominacion.

La pila de bicromato de potasa (fig. 122) es de uso muy cómodo para los experimentos de cátedra ó laboratorio. Es un elemento de un solo líquido dispuesto del modo siguiente: dos placas de carbon de retorta unidas una á otra forman el electrodo positivo, estando ambas sumergidas en una disolucion de bicromato de potasa con ácido sulfúrico, y sujetas á la tapadera de ebonita del frasco de la pila. El electrodo negativo es una plancha de zinc de longitud la mitad menor que la del carbon, y que se introduce con un vástago de corredera entre las dos placas positivas. Fórmase en el líquido un sulfato doble de cromo y de potasa, y el oxígeno desprendido se une al hidrógeno para

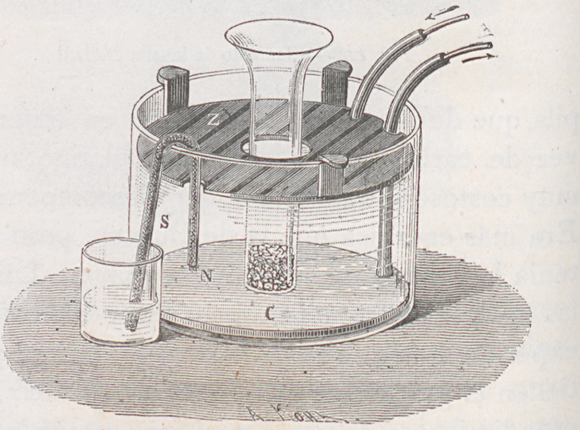


Fig. 121.—Elemento Daniell modificado por W. Thomson

formar agua, impidiendo así que se deposite este último gas alrededor del electrodo positivo. Cuando la pila no ha de funcionar, se levanta el vástago central, con lo cual se puede sacar el zinc del líquido. Una de las dos bornas ó tornillos laterales está unida á las placas de carbon y forma el polo positivo; la otra al

vástago central y al zinc, formando el negativo. Poggendorff fué quien discurrió el empleo del bicromato de potasa.

Haremos tambien mencion de las pilas Marié-Davy, Callaud y Leclanché, áun cuando nos ocuparemos de ellas en los capítulos de las *Aplicaciones* relativas á la telegrafía eléctrica.

Un vaso de vidrio de ancha boca y dividido en dos compartimientos forma un elemento doble de la pila Marié-Davy. En el fondo tiene una placa de carbon cubierta de una pasta de sulfato de oxidulo de mercurio; encima una plancha de zinc provista de un mango y suspendida de las paredes de la vasija en apoyos metálicos. Las placas están metidas en agua acidulada; el carbon de uno de los compartimientos empalmado con un alambre al zinc del compartimiento contiguo, y el conjunto constiye un elemento que unido á otros análogos constituye la pila. Háse modificado esta disposicion primitiva, y la forma de la pila Marié-Davy es hoy parecida á la de Daniell, con su vaso poroso y sus líquidos separados. Es muy constante, pero tiene un grave inconveniente, pues el sulfato de oxidulo de mercurio es una sal muy venenosa y de uso peligroso.

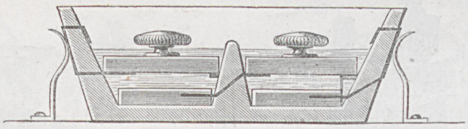


Fig. 123.—Pila de Marié-Davy

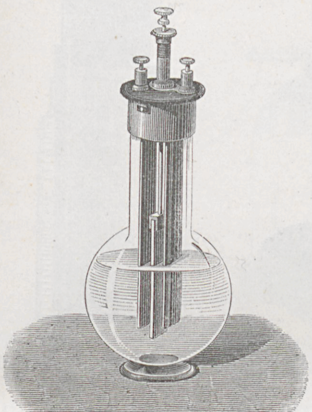


Fig. 122.—Pila de bicromato de potasa

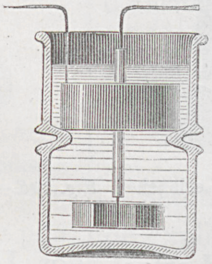


Fig. 124.—Pila de Callaud, tipo de la administracion telegráfica

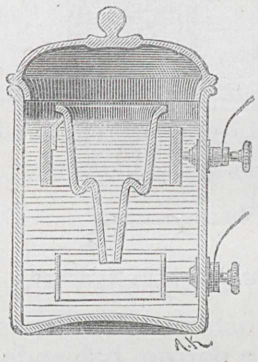


Fig. 125.—Pila Callaud, primer tipo modelo

La pila Callaud (fig. 124) es una pila de densidad; vamos á hacer su descripcion tomándola de su mismo autor:

«El objeto que se ha propuesto el inventor, dice, es la supresion del vaso poroso de la pila Daniell. Los agentes de esta han servido para su aplicacion; la diferencia de densidad de los líquidos es mayor que con los agentes de otras pilas. El modelo tipo de esta es el representado en la fig. 125. El vaso principal tiene la dimension de las pilas de telegrafía; *a* y *b* son dos orificios por cada uno de los cuales pasa una especie de perno terminado en una varilla taladrada, á la que está soldado el zinc en la parte superior y el cobre en la inferior; una rodaja de cautchuc sirve de juntura, una tuerca exterior lo mantiene todo sujeto, y una borna atornillada sobre esta sirve para recibir los conductores. Un vaso de vidrio cónico, sostenido por el zinc, sumerge su tubo inferior hasta el nivel de la plancha de cobre. Echase en la pila agua pura ó cargada con una corta cantidad de sulfato de zinc, de sal ó de ácido sulfúrico, y en el vaso una solucion de sulfato de cobre, la cual, siendo muy densa, cae en el fondo del vaso y levanta, sin mezclarse con él, el líquido superior el cual baña entónces el zinc. Al punto aparece la corriente. Pónense en el vaso de vidrio cristales de sulfato de cobre que mantiene la disolucion saturada á medida que el funcionamiento de la pila tienda á empobrecerla.»

En el tipo de la figura 124 el zinc está sostenido en un reborde que forma interiormente el vaso de vidrio hácia la mitad de su altura. La placa de cobre del fondo está enrollada en espiral como en la pila Callaud de tipo americano (fig. 128) en la cual el zinc tiene la forma de una rueda de reloj de cuatro segmentos sostenida por un vástago que lleva en su centro.

La forma de espiral tiene por objeto aumentar la superficie de los electrodos.

La pila Meidinger (fig. 126) es tambien otra forma de pila de densidad; la seccion de ella

que representa el grabado hace supérflua su descripcion.

El elemento Leclanché consiste en un vaso de vidrio que contiene una disolucion de clorhidrato de amoniaco y un vaso poroso lleno de una mezcla en partes iguales de fragmentos de peróxido de manganeso y carbon de retorta de gas, machacados toscamente; esta mezcla es la que constituye el agente despolarizador de la pila. En el centro del vaso poroso hay una placa de carbon terminada en un boton de plomo, que forma el electrodo positivo. Por el gollete exterior penetra un cilindro de zinc en la disolucion de clorhidrato de amoniaco, y forma el electrodo negativo. Cerrando el circuito del zinc al carbon, el primero es atacado por el ácido clorhídrico; fórmase cloruro de zinc, y dirigiéndose el hidrógeno al través del vaso poroso hácia el carbon en donde se encuentra el peróxido de manganeso, forma con éste sesquióxido de manganeso y agua.

En el modelo de la figura 127 está suprimido

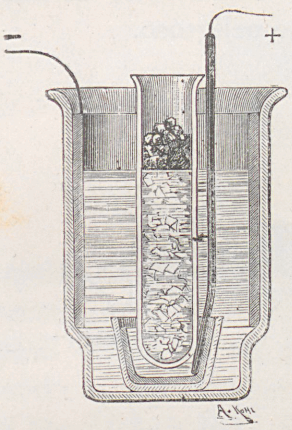


Fig. 126.—Pila Meidinger

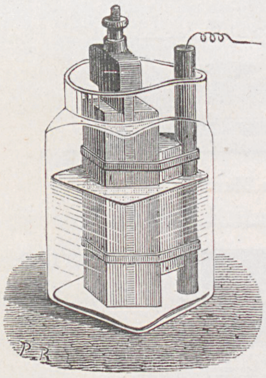


Fig. 127.—Pila Leclanché

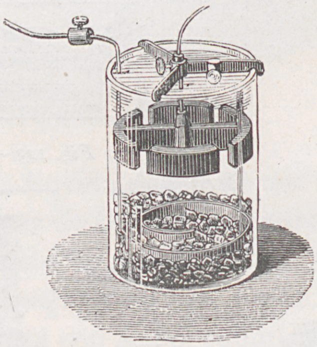


Fig. 128.—Pila Callaud, tipo americano

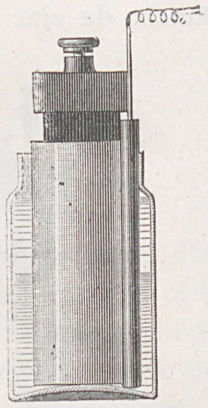


Fig. 129.—Pila Leclanché

el vaso poroso; habiendo sometido M. Leclanché la mezcla de peróxido de manganeso y carbon á una presion considerable constituyó una masa sólida homogénea, á la cual va unida la placa de carbon. El cilindro de zinc está aislado del electrodo conductor por un pedazo de madera y reunido con él por medio de brazaletes de cautchuc. En tan sencilla forma, la pila Leclanché presta grandes servicios en la industria telegráfica; siendo tal su constancia que puede funcionar meses enteros sin interrupcion, y servir la misma pila, usándola continuamente, por espacio de muchos años.

IV

TEORÍA FÍSICO-QUÍMICA DE LAS PILAS

En los fenómenos de que hasta aquí nos hemos ocupado, los generadores de la electricidad ó, si se quiere, los varios modos de producirse el agente eléctrico, se pueden clasificar en cuatro categorías: *friccion, induccion, contacto y acciones químicas*. Nada tenemos que añadir á cuanto dejamos dicho acerca de los dos primeros modos. La electricidad desarrollada por friccion aparece como trasformacion de la fuerza mecánica en fuerza eléctrica. ¿En qué consiste esta última fuerza? ¿qué clase de movimiento anima las moléculas del cuerpo electrizado, ó las atmósferas de éter de que se las supone rodeadas? Se ignora, ó mejor dicho, todavía no se ha podido formar más que conjeturas acerca de tan delicadas cuestiones. Lo que se sabe, lo que se conoce, son los efectos de la electricidad desarrollada de tal suerte; ya hemos visto que se presentan de varios modos atracciones y repulsiones, calor, luz, combinaciones y descomposiciones químicas, es decir, movimientos visibles, ó bien moleculares y atómicos. Lo que se sabe, lo que se debe admitir como consecuencia cierta de un principio de mecánica hoy universalmente proclamado, es que hay equivalencia entre el trabajo consumido para producir la electricidad y el que se podria reunir ó calcular valuando y totalizando cada uno de los efectos mecánicos, químicos y físicos cuya enumeracion acabamos de hacer.

La electricidad desarrollada por contacto de los cuerpos heterogéneos, cuya existencia se

esforzó Volta en demostrar, parece estar hoy perfectamente demostrada. Háse tratado de explicarla, ya por medio de acciones mecánicas, ya por acciones químicas suscitadas por la humedad de la mano ó de las rodajas de la pila, ó ya tambien por la accion de las capas de aire ambientes. Cierto es que estas diferentes causas debieron contribuir en los experimentos de Volta á producir la electricidad cuya presencia indicaba su condensador; pero otras investigaciones más minuciosas y detenidas han dado en

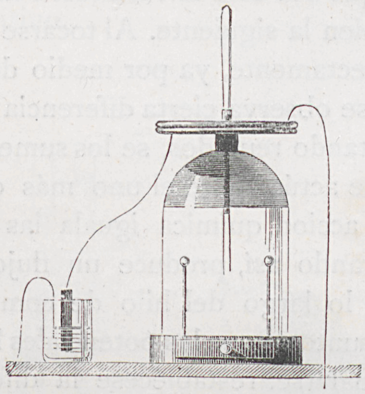


Fig. 130.—Electricidad desarrollada por las acciones químicas

definitiva la razon al ilustre inventor de la pila, y hoy se considera como uno de los generadores de electricidad el simple contacto de metales heterogéneos (1).

En cuanto á la electricidad debida á la influencia de las acciones químicas, la demuestra el funcionamiento de muchas pilas, algunas de las cuales hemos descrito. El experimento siguiente basta para demostrar su principio:

Introduzcamos una plancha de cobre en un vaso que contenga ácido nítrico diluido en agua (fig. 130). Pongamos la plancha en comunicacion con el platillo inferior de un electrómetro condensador, haciendo al propio tiempo que el líquido, así como el platillo superior, comuniquen con el suelo. Tan luégo como se separan los dos platillos, las hojas de oro divergen, y se ve que el aparato se ha cargado de electricidad negativa. Si se cambia el órden de las comunicaciones, reuniendo el ácido por medio de un alambre con el platillo inferior del condensador, y poniendo el otro platillo y la placa en comunicacion con el suelo, el aparato resultará cargado de electricidad positiva. Si en vez de cobre se pone un metal que no ataque el ácido nítrico, por ejemplo platino, no se desarrollará el flúido.

Obtiénense análogos resultados, es decir, un desarrollo más ó menos enérgico de electricidad suscitando cualquier accion química entre dos cuerpos. Dos soluciones, una alcalina y otra ácida, ó bien dos sales, una ácida y otra neutra ó alcalina, puestas en contacto, engendran electricidad, la cual es positiva en el cuerpo que hace las veces de ácido, y negativa en el que las hace de base.

Sentado lo que antecede, debemos ya tratar de explicar en qué difieren la electricidad producida por las pilas y la que procede de las varias máquinas eléctricas que funcionan por frotamiento ó induccion. Nadie ignora que se distinguen estas dos clases de electricidades con dos denominaciones diferentes, dándose el nombre de *estática* á la que se desarrolla en la superficie de los conductores de las máquinas, ó en los cuerpos aisladores de un disco ó torta de resina de un electróforo, ó que se condensa en las armaduras de una botella de Leyden. Llámase *electricidad dinámica* á la que circula por los hilos ó *reóforos* de una pila, cuando estos hilos, puestos en contacto, reunen los polos positivo y negativo del aparato. A la primera se la considera como estando en reposo en la superficie de los conductores; la segunda está en movimiento continuo.

Cuando se hace funcionar una máquina eléctrica, la de disco por ejemplo, la electricidad que se desarrolla en el vidrio se trasmite por influencia al conductor, cuya carga llega en breve á un límite. Más allá de esta carga máxima, que depende de las dimensiones del conductor, la electricidad que produjera la máquina, si se continuase dando vueltas al manubrio,

(1) «La incredulidad de la mayor parte de los físicos que se niegan á admitirlo así, dice M. Mascart, procede principalmente de que se cree poder deducir de ello alguna consecuencia análoga á la del movimiento perpétuo; pero ya hemos visto que la ley de Volta no expresa otra cosa sino la imposibilidad de producir electricidad sin trabajo. Cuando dos platillos heterogéneos están puestos en contacto, se atraen sin duda por el solo hecho de que están electrizados en sentido contrario ó llevados á potenciales diferentes; mas, para utilizar esta electricidad, es menester separar los platillos y vencer precisamente la atraccion que se ejerce entre ellos. Otro tanto sucede con una aguja de acero puesta en contacto con un iman; esta aguja se imanta, y la energía magnética que adquiere está representada por el trabajo que se necesita emplear para desprenderla del iman. La electricidad por contacto es tan impotente como los imanes para producir un trabajo cualquiera sin un gasto mecánico equivalente.» (*Tratado de electricidad estática*, t. II, p. 351.)

se perderia por el aire y por los soportes. Si en vez de estar aislado el conductor, estuviese en comunicacion con el suelo, la electricidad producida se escaparia por él á medida que se desarrollase, y se podria asimilar esta salida del flúido á una corriente, como es la de la pila; mas en realidad, la electricidad recogida en un cuerpo por medio de las máquinas permanece estacionada en la superficie de este cuerpo, por cuya razon los fenómenos que provienen de estos generadores llevan el nombre de fenómenos de *electricidad estática.*

Por el contrario, la corriente eléctrica de la pila es continua miéntras dura la accion química que engendra la electricidad. Puédese concebir de dos distintos modos la conexion que hay entre dicha accion química y la produccion del flúido; pero en una ú otra explicacion es evidente la razon de la denominacion de *electricidad dinámica* ó *en movimiento.* Hé aquí en qué términos resume Gordon ambas explicaciones en su *Tratado de electricidad*: «Si se ponen dos metales uno cerca de otro, pero sin que se toquen, en un líquido que ejerza una accion química más enérgica en uno que en otro, los metales se cargan de modo que el ménos atacado se encuentra en una potencial más elevada que el más atacado. La diferencia de potencial depende solamente de la naturaleza de los metales y del líquido y no de las dimensiones ó de la posicion de las placas metálicas. Tan luégo como la diferencia de potencial llega á su valor constante, la accion química cesa.

»Pero si los metales están unidos por un hilo metálico exterior al líquido, la diferencia de potencial empieza á disminuir, y una corriente eléctrica atraviesa el hilo. No bien desciende la diferencia de potencial bajo el máximum correspondiente á los dos metales y al líquido, la accion química empieza de nuevo y restablece el máximum; y si no interviene alguna causa perturbadora, la corriente continúa hasta que el metal más atacado se disuelve enteramente.

»Este modo de ver la cuestion explica muy bien los hechos; pero como no se tiene la seguridad de que sea esta la verdadera explicacion, dase tambien la siguiente. Al tocarse dos metales, ya directamente, ya por medio de un hilo metálico, se observa cierta diferencia de potencial. Si estando reunidos, se los sumerge en un líquido que actúa sobre el uno más que sobre el otro, la accion química iguala las potenciales, y obrando así, produce un flujo de electricidad á lo largo del hilo de comunicacion. Desde el punto en que las potenciales han empezado á igualarse, restablécese la diferencia en el punto de contacto, y de este modo se establece, si no interviene alguna causa perturbadora, una corriente continua hasta que se disuelve enteramente el metal más atacado.»

Tanto en una como en otra teoría, la existencia de la corriente procede de una diferencia de carga eléctrica entre los dos cuerpos que constituyen los electrodos de la pila; sólo que en la primera, la causa de esta diferencia es la accion química, y en la segunda es el contacto. Pero en ambos casos, la fuerza electromotriz de la corriente engendrada corresponde con el trabajo de la accion química y se mide por la cantidad de metal consumido.

CAPÍTULO VII

ELECTROQUIMICA.—CORRIENTES TERMO-ELECTRICAS Y SECUNDARIAS

I

FENÓMENOS ELECTROQUIMICOS—ELECTROLISIS

Cuando la corriente de la pila atraviesa un compuesto químico, en estado líquido ó en disolucion, por lo regular lo descompone en dos elementos constitutivos, uno de los cuales aparece del lado del polo positivo y el otro del lado del negativo, es decir, en los dos puntos en que la corriente penetra en el líquido y sale de él. Los efectos químicos de la electricidad voltaica han adquirido tal importancia, que su estudio constituye toda una rama de la ciencia, á la cual se da el nombre de ELECTROQUIMICA.

El primer fenómeno de descomposicion conocida es el del agua, descubierto por Carlisle y Nicholson en 1800. Habiendo hecho pasar por el agua la corriente de una pila de columna, formada de discos de plata y zinc, vieron que del extremo del alambre de cobre que partia del polo negativo de la pila se desprendian burbujas gaseosas que, segun reconocieron, eran de hidrógeno; el otro alambre se oxidaba rápidamente. Reemplazando el cobre por el platino, que no se deja atacar por el oxígeno, aparecian tambien burbujas de este gas en el polo positivo.

Para efectuar esta descomposicion, se hace uso de un aparato al que Faraday ha dado el nombre de *voltámetro*, y se hace la operacion como se representa en la figura 131. Dicho aparato consiste en un vaso de forma cónica con dos agujeros en el fondo por los cuales pasan dos alambres de platino que van unidos á los reóforos de una pila; para tapar los intersticios se echa un poco de mastic en el fondo del vaso.

Se llena el vaso de agua, en la cual se echan unas cuantas gotas de ácido sulfúrico para hacerla mejor conductora. Para cubrir las plan-

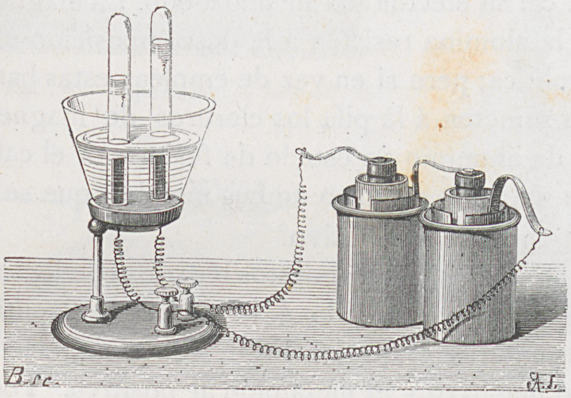


Fig. 131.—Descomposicion del agua por la pila

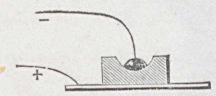


Fig. 132.—Descomposicion de los metales alcalinos por la pila

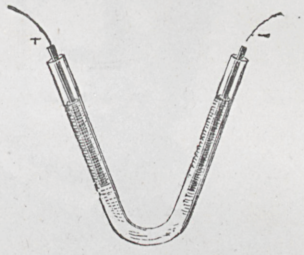


Fig. 133.—Electrolisis de una sal metálica

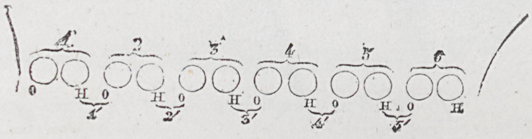


Fig. 134.—Trasporte de la moléculas descompuestas en la electrolisis del agua

chas de platino se introducen en el vaso dos campanas de vidrio llenas de agua. Apénas pasa la corriente, despréndense burbujas de gas alrededor de las placas, subiendo á la parte superior de cada campana. Uno de estos gases es hidrógeno y el otro oxígeno (1), y el volúmen del primero es siempre doble del volúmen del segundo. Además, el desprendimiento de oxígeno se efectúa siempre alrededor de la plancha unida al reóforo del polo positivo, al paso que el hidrógeno se desprende en el negativo.

Dase el nombre de *electrolisis* ó *electrolizacion* á la operacion mediante la cual se resuelve con la pila un compuesto químico en sus cuerpos constitutivos, llamándose *electrolito* al cuerpo sometido á la electrolisis. Los *electrodos* son

(1) Ya es sabido que es fácil distinguir estos dos gases: un fósforo recien apagado se vuelve á encender casi al punto en la probeta de oxígeno; si se le acerca encendido á la probeta de hidrógeno en la que se ha dejado penetrar un poco de aire, al instante estalla una ligera explosion que es característica de la presencia del hidrógeno.

las porciones de los hilos de los reóforos en que tiene efecto la descomposicion (2).

Algunos años despues del experimento de la descomposicion del agua por la corriente voltaica, este nuevo método de análisis dió ocasion al ilustre Davy para hacer muchos y brillantes descubrimientos. Hasta entónces se habia considerado la potasa, la sosa, etc., como cuerpos simples, y Lavoisier, que sospechaba que estos álcalis eran compuestos, no habia podido probarlo. El químico inglés consiguió hacer esta descomposicion, y en un mismo año, el de 1807, descubrió los cinco metales siguientes: potasio, sodio, bario, estroncio y calcio. Hé aquí en qué términos describe el experimento

(2) Faraday, que ideó estas expresiones, ha dado tambien el nombre de *catodo* al electrodo unido con el polo negativo de la pila, y el de *anodo* al electrodo positivo. Los productos de la descomposicion eléctrica se llaman *iones*; la palabra *caciones* designa á los que van á parar al *catodo* y *aniones* á los que se dirigen al *anodo*. El agua es un *electrolito*, puesto que la pila separa sus dos *iones*, el oxígeno y el hidrógeno; este es el *cacion* y aquel el *anion*.

que le condujo al descubrimiento del primero de ellos:

«Coloqué, dice, un pequeño fragmento de potasa en un disco aislador de platino que comunicaba con el lado negativo de una pila eléctrica de 250 elementos (cobre y zinc) en plena actividad, y puse luégo en contacto con



Fig. 135.—Miguel Faraday

la cara superior de la potasa un alambre de platino que comunicaba á su vez con el lado positivo. Todo el aparato funcionaba al aire libre. En tales circunstancias manifestóse una accion muy viva; y la potasa empezó á derretirse en sus dos puntos de electrizacion. En la cara superior (positiva) sobrevino una gran efervescencia, producida por el desprendimiento de un flúido elástico; de la inferior (negativa) no se desprendia ningun flúido elástico, pero aparecieron en ella *globulillos de un fuerte brillo metálico, muy parecidos á los glóbulos de azogue*. Conforme se iban formando algunos de ellos, ardian con explosion y con llama intensa; otros perdian poco á poco su brillo, quedando por fin cubiertos de una capa blanca. Estos glóbulos formaban la sustancia que yo buscaba; era un principio combustible particular, la *base de la potasa*, el *potasio.*»

Véase cómo se reproduce hoy el memorable experimento de sir Humphry Davy: Sobre una plancha de platino empalmada al polo positivo de una pila (fig. 132) se pone un fragmento de potasa, en cuya cara superior, ahuecada convenientemente, se echa un glóbulo de azogue. El reóforo negativo de la pila penetra en este. Cerrado así el circuito, da principio la electrolisis; sobre el platino aparecen burbujas gaseosas de mercurio, y pasa potasio al azogue disolviéndose en él y formando una amalgama que lo sustrae al contacto del aire. En seguida se expulsa el mercurio de la amalgama por el calor que le comunica una corriente de gas hidrógeno seco, y se recoge el potasio puro.

La electrolisis de la sosa, de la barita y de la cal se efectúa del mismo modo. La magnesia y la alumina resisten á la descomposicion electrolítica; pero si en vez de emplear estas bases, se someten á la pila los cloruros de magnesio y de aluminio en estado de fusion por el calor, se obtienen tambien ambos metales, que se dirigen al polo negativo.

En todos los compuestos binarios conductores que se han sometido á la accion electrolítica, el metal es el que se dirige siempre al electrodo negativo y el metaloide al positivo. Todos los ioduros, bromuros y cloruros descompuestos por la pila se hallan en este caso, siendo el iodo, el bromo y el cloro los que se dirigen al polo positivo, es decir, que hacen las veces del elemento *electro-negativo*, miéntras que el metal hace las del *eléctro-positivo*.

La electrolisis de las sales produce fenómenos más complejos. Si se trata de una sal metálica diluida en agua, por ejemplo, de una disolucion de sulfato de cobre, el metal pasa al polo negativo; el oxígeno del óxido y el ácido libre se dirigen juntos al electrodo positivo. Fácilmente se comprueba esto con un tubo en forma de U en el cual se echa la disolucion y cada uno de cuyos brazos se pone en comunicacion por medio de un alambre de platino con uno de los polos de una pila. Entónces se vé cómo aparecen burbujas de oxígeno sobre el hilo positivo, y cómo se cubre el otro hilo de un depósito rojo de cobre. Si se hace este experimento empleando como reóforos alambres ó planchas de cobre, el oxígeno desprendido forma con el metal del electrodo positivo óxido de cobre, que combinándose con el ácido sulfúrico

libre, forma de nuevo sulfato de cobre, de modo que la disolucion subsiste siempre en el mismo estado de saturacion (1).

La electrolisis de una sal alcalina no difiere de la de las sales metálicas sino por una reaccion química secundaria, fácil de explicar. Consideremos una sal de sosa, el sulfato, y echemos su disolucion en el tubo en forma de U, despues de colorarla con jarabe de violeta. Tan luégo como pasa la corriente, la disolucion se colora de rojo en el polo positivo y de verde alrededor del electrodo negativo, desprendiéndose burbujas de oxígeno é hidrógeno de los dos polos como en la descomposicion del agua. Y es que, en efecto, el metal pasa al polo negativo, pero el sodio descompone el agua, forma sosa

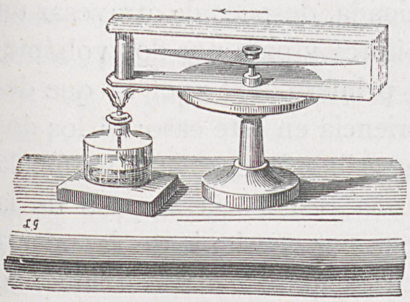


Fig. 136.—Experimento de Seebeck

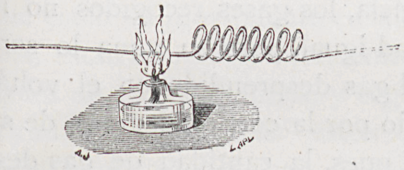


Fig. 137.—Corriente termo-eléctrica en un alambre de metal homogéneo

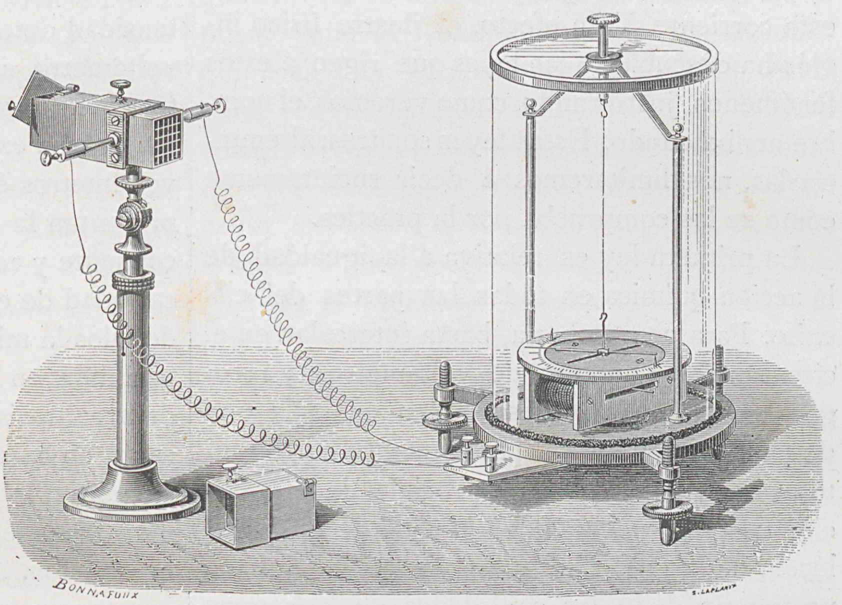


Fig. 138.—Pila termo-eléctrica ó termo-multiplicador de Nobili

con su oxígeno y deja en libertad al hidrógeno. Por lo que hace al ácido, pasa con el oxígeno del óxido al polo positivo.

En la electrolisis del agua ó de cualquier otro compuesto binario ocurre una circunstancia digna de mencion, y es que la descomposicion parece ocurrir únicamente al rededor de los dos electrodos ó en su contacto; tan sólo en estos puntos aparecen burbujas gaseosas, ya de oxígeno ó bien de hidrógeno, no pareciendo sino que en el resto de la masa la corriente permanezca inactiva. Hé aquí cómo se explica esta aparente anomalía. Sea 1, 2, 3, 4, 5, 6 (fig. 134) una fila de moléculas de agua situadas entre los electrodos: cuando pasa la corriente, todas estas moléculas sin excepcion se descomponen en sus dos elementos O, H, oxígeno é hidrógeno. Todos los átomos de oxígeno se dirigen hácia el electrodo positivo, y los del hidrógeno al negativo; pero en esta marcha incesante el átomo de oxígeno de la molécula 1 encuentra al átomo de oxígeno de la molécula 2 y se combina de nuevo, y así sucesivamente, de suerte que cada molécula de agua descompuesta se reforma, por decirlo así, no exceptuándose más que los átomos extremos O de la molécula 1 que se desprende en el polo positivo, y H de la molécula 6 que se desprende del mismo modo en el negativo.

Esta teoría, discurrida por el físico sueco Grotthuss, basada en la mobilidad ó libre trasporte de las moléculas de los electrolitos, concuerda con el hecho general de que no hay electrolisis si el cuerpo no se halla en estado líquido; ó bien, si á veces se manifiesta en los líquidos pastosos, es únicamente en razon de su fluidez (2).

(1) Veremos utilizada esta propiedad en *galvanoplastia*, en la que importa mucho mantener constante la composicion de los baños metálicos. Dase el nombre de *electrodos solubles* á los que se forman con el metal que entra en la disolucion salina sometida á la accion electrolítica.

(2) Es interesante citar aquí la opinion del sabio Clausius, resumida por Maxwell en su obra *Electricity:*

«Clausius, que ha estudiado detenidamente la teoría de la agitacion molecular de los cuerpos, supone que las moléculas de todos ellos se hallan en constante estado de agitacion, pero que en los sólidos cada molécula no excede jamás de cierta distancia de su posicion primitiva, al paso que cualquier molécula de los flúidos, despues de desviarse á

II

LEYES DE FARADAY

El nombre de *voltámetro* dado por Faraday al aparato que sirve para descomponer el agua ú otros compuestos binarios, indica claramente que, entre los fenómenos de electrolisis y la corriente de pila que los da orígen, existe una relacion constante que puede servir para medir esta corriente. Y en efecto, el ilustre físico inglés ha descubierto las leyes que rigen á estos fenómenos, justificando, como veremos, el nombre arriba citado. Estas leyes son tres: al enunciarlas, nos limitaremos á decir sucintamente cómo se las comprueba por la práctica.

La primera ley es relativa á la igualdad de la accion química en todas las partes del circuito. Para comprobarla, basta intercalar en el circuito cierto número de voltámetros, y recoger los gases que se desprenden en cada uno de ellos midiéndolos separadamente. Otro tanto se hace con el gas que procede de la reaccion química efectuada en el seno de cada molécula de la pila. De este modo se ve que, en un tiempo dado, las cantidades de hidrógeno procedentes de cada voltámetro intercalado en el circuito son iguales, y que sucede lo propio con el hidrógeno recogido en cada elemento de la pila. El resultado seria el mismo si en los diferentes voltámetros se hiciese conductora al agua añadiéndole proporciones diferentes de un mismo ácido, ó distintas sustancias, como sales, ácidos y álcalis. Por último, la ley enunciada sigue siendo verdadera, cualquiera que sea el electrolito sometido á la accion de la corriente, viéndose que en cada voltámetro ó en cada elemento de pila se deposita ó aparece en cada polo la misma cantidad de materia. Así pues, la primera ley descubierta por Faraday se puede formular de este modo:

La accion electrolítica de una corriente es la misma en todas las partes del circuito.

Supongamos ahora que una corriente de intensidad determinada, despues de atravesar un voltámetro, se bifurca y pasa por dos voltámetros idénticos al primero. Hé aquí lo que demuestra la experiencia en este caso: Si los dos voltámetros que reciben la corriente bifurcada presentan la misma resistencia al paso de la corriente y reciben por consiguiente la misma cantidad de electricidad, se hallará en cada uno de ellos la mitad de la cantidad de gas desprendida en el primer voltámetro; si ofrecen desigual resistencia, los gases recogidos no lo serán en cantidad igual, pero su suma lo será siempre á la del gas desprendido en el voltámetro atravesado por la corriente ántes de su bifurcacion. Así pues, la cantidad de gas descompuesto es proporcional á la de electricidad suministrada por la corriente. Midiendo con los instrumentos que más adelante describiremos las intensidades de distintas corrientes, ó la intensidad variable de una misma, Faraday ha reconocido que las cantidades de gas desprendidas durante un tiempo determinado son proporcionales á las intensidades de las corrientes.

Por lo tanto, se puede formular en los siguientes términos la segunda ley de los fenómenos de electrolisis:

La cantidad de gas desprendida por minuto es una medida absoluta de la intensidad media de la corriente durante este minuto; y la cantidad total de gas es la medida de la intensidad total de la corriente.

La tercera ley descubierta por Faraday determina la proporcion de las cantidades electrolizadas por una misma corriente, cuando se someten á su accion sustancias químicamente distintas. Supongamos por ejemplo, que se hace atravesar á la corriente de una pila una serie de vasos que contengan los electrolitos siguientes: agua, ioduro de plomo fundido, cloruro de estaño fundido, y cloruro de plata; entónces se advierte que por cada 32'5 milígramos de zinc

cierta distancia de su posicion primitiva, es tan libre de alejarse aún más como de retroceder. De aquí resulta que las moléculas de un flúido en reposo aparente cambian continuamente de posicion, y pasan sin regularidad alguna de una parte del flúido á otra. Clausius supone que, en un flúido compuesto, no tan sólo se desvian de este modo las moléculas compuestas, sino que, en las colisiones que ocurren entre ellas, se separan con frecuencia y cambian de compañeras, de suerte que el mismo átomo individual está asociado en cierto momento con un átomo de especie opuesta, y en otro momento con un nuevo átomo.

»Clausius supone que siempre existe en los líquidos esta manera de ser, pero que cuando una fuerza electromotriz actúa sobre el líquido, los movimientos que ántes efectuaban las moléculas indiferentemente en todos sentidos, sufren entónces la influencia de la fuerza electromotriz, de suerte que las que se cargan positivamente tienen mayor propension á dirigirse hácia el catodo que hacia el anodo, y las cargadas negativamente siguen opuesto camino. Por consiguiente, las moléculas del cacion se precipitarán hácia el catodo en sus intervalos de libertad; pero se detendrán continuamente en su camino porque se juntan por un momento con las moléculas del anion, que se precipitan tambien á través de la masa, aunque en direccion contraria.»

Fácilmente se ve la analogía que existe entre este modo de ver de Clausius y la teoría de Grotthuss que dejamos someramente expuesta.

disueltos en cualquiera de los elementos de la pila, se produce

1	milígramo	de hidrógeno
8	—	de oxígeno
103'5	—	de plomo
127	—	de iodo
59	—	de estaño
35'5	—	de cloro
108	—	de plata

Ahora bien, 32'5, 1, 8, 103'5, 127, 59, 35'5 no son otra cosa sino los equivalentes químicos de los elementos. De donde se desprende esta ley, cuya importancia no necesitamos encarecer:

Cuando una misma corriente actúa químicamente sobre muchos electrolitos, los pesos de los elementos separados por la electrolisis son proporcionales á los equivalentes químicos de estos elementos.

En resúmen, las cantidades de electricidad que están en movimiento en la corriente de una pila, están en relacion constante con las cantidades de accion química; y segun lo ha dicho Tyndall al mencionar estos descubrimientos de su compatriota: «Las descomposiciones de la corriente voltaica están tan definidas en su naturaleza como las combinaciones químicas que han dado orígen á la teoría atónica. Esta ley de las descomposiciones químicas figura por su importancia en la misma categoría que la ley de las proporciones definidas de la química.»

III

CORRIENTES Y PILAS TERMO-ELÉCTRICAS

Cuando se hace variar entre 10° y 150° la temperatura de una turmalina, ésta se electriza; las dos mitades del cristal adquieren electricidades contrarias, quedando en medio un espacio neutro. Pero es de notar que no subsiste este estado sino miéntras la temperatura varía; pues tan luégo como se fija, desaparecen las señales de electrizacion. Esta propiedad, há largo tiempo conocida, no es solamente peculiar de la turmalina, sino tambien de algunas otras sustancias cristalinas, como el topacio, el silicato de zinc, el espato, el cristal de roca, el azúcar, etc., por cuya razon les ha dado Brewster el nombre de *piro-eléctricas*. Gaugain, uno de nuestros más ilustrados electricistas contemporáneos, reunió por los polos del mismo nombre una serie de turmalinas electrizadas de tal suerte, y reconoció que el efecto producido era mucho mayor; pero poniéndolas punta con punta y por sus polos opuestos, vió que la especie de pila así formada daba tan poca electricidad como cada uno de estos elementos de por sí.

De todos modos, estos experimentos prueban que el calor es un generador de electricidad, lo mismo que el frotamiento, que las acciones químicas, etc. Vamos á ver que puede servir para engendrar corrientes eléctricas y para construir verdaderas pilas. El descubrimiento de esta clase de corrientes, llamadas por tal causa *corrientes termo-eléctricas*, data de unos sesenta años. Seebeck, físico de Berlin, hizo en 1821 el siguiente experimento: Dobló una tira de cobre formando con ella los tres lados de un rectángulo, cuyo cuarto lado era un cilindro de bismuto soldado al cobre: calentando entónces una de las soldaduras con la llama de una lámpara de alcohol, reconoció que esta operacion producia una corriente eléctrica que iba, como lo indica la flecha de la figura 136, de la soldadura caliente á la fria pasando por la tira de cobre. Enfriando la misma soldadura, se obtiene tambien una corriente, pero de direccion contraria, dependiendo en ambos casos su intensidad de la diferencia de temperatura de la soldadura de ambos metales. El físico berlinés aprovechó, para reconocer la existencia de las corrientes de tal modo engendradas, el descubrimiento, reciente á la sazon, de la influencia de las corrientes eléctricas sobre la aguja imantada, hecho por Œrstedt. Entre los dos lados paralelos del rectángulo de cobre se ve una aguja de estas puesta sobre un eje vertical. Apénas cambia la temperatura de las soldaduras, la aguja imantada denota con su desviacion el nacimiento de la corriente.

Desde 1821 se han hecho importantes trabajos sobre las corrientes termo-eléctricas, habiéndose reconocido desde luégo que se las podia producir con metales distintos, pero que su direccion é intensidad dependen de la clase de los metales soldados. Por ejemplo, la corriente que en el experimento de Seebeck va de la soldadura caliente á la fria por el cobre, iria en sentido contrario si se sustituyera el bismuto con antimonio. Hé aquí, segun los experimen-

tos de Becquerel, una serie de metales colocados en tal órden, que la corriente, al atravesar la soldadura calentada, va del metal que sigue al que le precede en la serie y con el cual está asociado:

Antimonio, hierro, zinc, plata, oro, cobre, estaño, plomo, platino y bismuto.

El antimonio y el bismuto son los que dan las corrientes termo-eléctricas más intensas; segun Becquerel, cuando una de las soldaduras está á 0° y la temperatura de la otra comprendida entre 40° y 50°, la intensidad de la corriente es proporcional á la temperatura; pasando de 50°, crece cada vez ménos hasta ser insensible en un punto que depende del par de metales asociados, ó sea hácia los 300° en un par cobre-hierro, hácia los 225° en uno zinc-plata, algo más de 150° en uno oro-zinc, etc.

Las corrientes termo-eléctricas se engendran tambien cuando en lugar de formarse el circuito con dos metales diferentes, no comprende más que un solo metal. Seebeck lo habia comprobado ya así con respecto á los metales de estructura cristalina, como el antimonio y el bismuto. Pero Becquerel ha obtenido tambien corrientes con metales homogéneos; sólo que es menester que la propagacion del calor en el metal no se haga del mismo modo á una parte y otra del punto calentado, á consecuencia de alguna diferencia en la estructura del metal. Así por ejemplo, cuando se coge un alambre de platino y se hace en él un nudo, ó se enrolla una parte de él en hélice (fig. 137), nace una corriente cuando se calienta una porcion del alambre inmediato á la hélice ó al nudo. Strugeon y Magnus han observado el mismo fonómeno en un hilo continuo, por ejemplo en una barra de acero, que tenga una parte templada y la otra recocida.

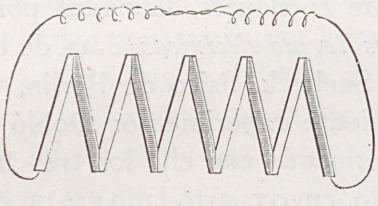


Fig. 139.—Elemento de la pila termo-eléctrica de Nobili

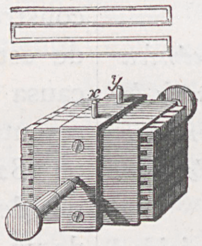


Fig. 140.—Disposicion de las barras en el termo-multiplicador

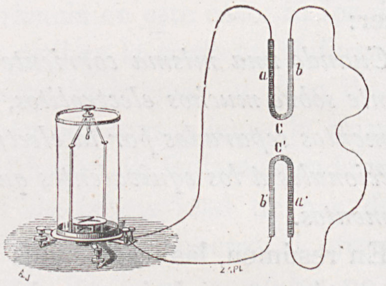


Fig. 141.—Pinza termo-eléctrica de Peltier

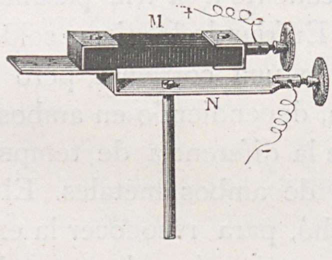


Fig. 142.—Par termo-eléctrico

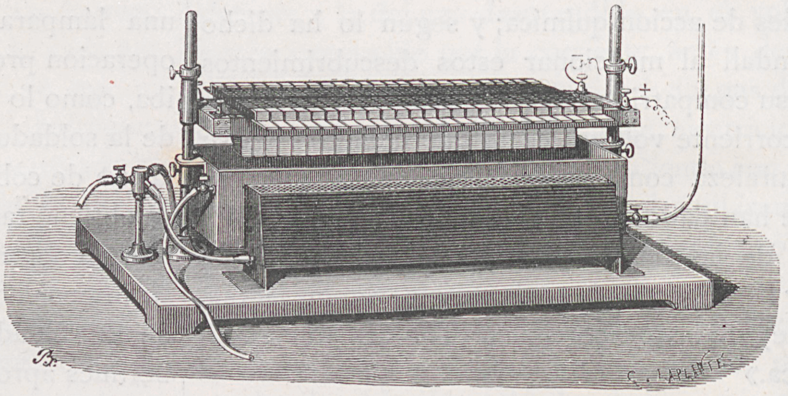


Fig. 143.—Pila termo-eléctrica de Becquerel

¿Cuál es la causa de este modo de producirse la electricidad? ¿Cómo actúa el calor para descomponer la electricidad neutra del cuerpo, para establecer entre las dos partes de los circuitos diferencias de potencial que son causa de la produccion de corrientes constantes? Segun Becquerel, la propagacion del calor en un conductor cualquiera debe de ir acompañada constantemente de un movimiento de electricidad. Cuando el circuito es homogéneo á una y otra parte del punto calentado, las corrientes obtenidas son de sentido contrario y de la misma intensidad y se destruyen mutuamente; si hay alguna diferencia de estructura, una de las corrientes prevalece sobre la otra, y así se conoce por la accion de la aguja en el galvanómetro.

En concepto de Le Roux, la causa de los fenómenos termo-eléctricos es la fuerza electromotriz que se desarrolla al ponerse en contacto dos sustancias heterogéneas, fuerza que aumenta con la temperatura, contribuyendo tambien á los efectos termo-eléctricos otras fuerzas electro-motrices que residen en la masa de cada sustancia, cuando su temperatura no es uniforme.

Se han utilizado los fenómenos que acabamos de describir para construir pilas especiales, á las cuales se ha dado el nombre de *pilas termo-eléctricas*. Describamos algunos de estos aparatos, que casi no se usan sino para el estudio de los efectos del calor radiante, ó de diferencias de temperatura en circunstancias particulares.

La pila termo-eléctrica de Nobili está formada del modo siguiente: Una serie de barras de antimonio AAA, soldadas punta con punta con otras barras de bismuto BBB, forman ángulos de tal suerte (fig. 139) que todas las soldaduras pares se hallan á un mismo lado y las impares á otro. Enlazando ambas series con dos hilos que parten de las barras extremas, se tiene un circuito en el cual nacerá una corriente eléctrica tan pronto como haya alguna diferencia de temperatura entre las barras opuestas. Reúnese cierto número de elementos iguales, dándoles la forma de un prisma rectangular (figura 140), cuyas dos caras opuestas contienen, una todas las soldaduras pares, y otra todas las impares de las barras. Dos bornas fijadas en las caras laterales del prisma, una de las cuales comunica con la primera barra de bismuto, y otra con la última de antimonio, llevan los reóforos de la pila.

Cuando se quiere hacer uso de la pila de Nobili para los estudios de radiacion calorífica, se unen los dos polos con un galvanómetro (figura 138), y se resguardan las caras de la pila de las variaciones irregulares de temperatura con cubiertas de laton de forma prismática provistas de opérculos que se cierran ó abren á beneplácito. Tan luégo como un foco de radiacion actúa en una cara de la pila, se engendra una corriente, y se nota cierta desviacion en la aguja del galvanómetro. La direccion de esta desviacion depende de la cara que se ha calentado, y su amplitud marca la intensidad de la corriente, que segun hemos visto, puede servir para determinar la diferencia de temperatura de las caras del aparato. La pila termo-eléctrica constituida de este modo es un instrumento de gran sensibilidad; basta tocar con el dedo una de sus caras, ó echarle el aliento, para que la aguja imantada experimente una gran desviacion.

En igualdad de circunstancias, la intensidad de la corriente está en razon del número de soldaduras, es decir, de los elementos de la pila, por cuya razon se da al aparato de Nobili el nombre de *termo-multiplicador*.

Peltier ha ideado un instrumento muy sencillo (fig. 141) y tan sensible que puede marcar las más leves variaciones de temperatura de una varilla, una placa metálica ó cualquier otro cuerpo. Consiste en dos pares *a b*, *a' b'* de antimonio y de bismuto, que tienen sus soldaduras vueltas una hácia otra en C C'. Estos dos pares están enlazados, por una parte, por un hilo, y por otra comunican con un galvómetro. Si se coloca el cuerpo que se ha de explorar entre las dos soldaduras, toda variacion de temperatura, ya sea de calor ó de frio, producirá una corriente cuya direccion é intensidad las marcará la desviacion de la aguja imantada.

Para medir la temperatura de las regiones internas del cuerpo se usa una especie de sondas termo-eléctricas, formadas de finísimas agujas de acero y cobre soldadas punta con punta.

Las figuras 142 y 143 representan, la primera un par termo-eléctrico, y la segunda una pila formada de elementos iguales asociados, notable por su energía é inventada por M. Edmundo Becquerel. M es una barra de sulfuro de hierro artificial soldada á una placa de plata alemana N. Los elementos están reunidos en una armazon rectangular, y para elevar la temperatura de las soldaduras se emplea el gas. Una pila de 30 ó 40 elementos formada de este modo posee una fuerza electrolítica bastante grande para descomponer el agua, y áun puede servir para la telegrafía.

IV

CORRIENTES Y PILAS SECUNDARIAS

Hemos visto que una de las causas de debilidad de la corriente en las primeras pilas consistia en las corrientes secundarias que resultaban de los elementos de depósitos ácidos, alca-

linos ó gaseosos formados en las planchas metálicas. Becquerel indicó el medio de neutralizar dichas corrientes, agregando á la pila otro líquido separado del primero por un tabique poroso, y escogiéndolo de modo que absorbiera el gas ó el elemento depositado en la plancha electro-negativa. De aquí tuvieron orígen las pilas de corriente constante descritas en un artículo anterior.

Ritter descubrió en 1803 las corrientes secundarias. Habiendo sometido á la accion de una pila de columna otra pila formada únicamente de discos de cobre separados por rodajas húmedas, observó que esta nueva pila, aunque inactiva de por sí, daba á su vez una corriente eléctrica de direccion contraria á la corriente de la primera, bien es verdad que aquella era débil y de escasa duracion. En 1826, de la Rive notó tambien una corriente secundaria inversa en las planchas de platino alrededor de las cuales se habian desprendido el oxígeno y el hidrógeno en el experimento de la descomposicion del agua por la pila. El fenómeno recibió el nombre de *polarizacion de los electrodos* y la corriente el de *corriente de polarizacion.*

Desde entónces han sido dichas corrientes objeto de muchos trabajos hechos por varios físicos, entre los cuales debemos mencionar á Faraday, Wheatstone, Poggendorff, E. Becquerel y Gaugain; habiéndolo sido más especialmente desde 1859, en que el ilustrado Planté estudió la influencia de varios metales y líquidos en la produccion de corrientes secundarias y en su intensidad y adquiriendo la cuestion una importancia justificada por las aplicaciones cientificas ó prácticas, consiguientes á las investigaciones de dicho físico. Hizo éste experimentos con voltámetros de hilos de cobre, plata, estaño, aluminio, hierro, zinc, oro y platino, variando para cada uno de ellos la clase de líquido en que penetraban los electrodos. De este modo reconoció que «oxidándose todos los metales en el polo positivo de la pila, la corriente secundaria obtenida despues de la interrupcion de la primaria era tanto más intensa cuanto más completa la oxidacion, siempre que el óxido formado permaneciese adherido y fuese poco soluble en el líquido acidulado del voltámetro. Ni áun el oro y la plata resistian á la accion del oxígeno de la pila; pues se cubrian de depósitos de óxidos oscuros y daban una enérgica corriente secundaria. El platino se oxidaba de una manera visible, es cierto; pero en cambio la corriente secundaria inversa era de ménos duracion que la de los metales que se cubrian de una capa de óxido adherente, explicándose este efecto por la descomposicion rápida del agua oxigenada producida al rededor del electrodo positivo del voltámetro. Por otra parte, la accion del hidrógeno era más fuerte con el platino que con todos los demás metales, por cuanto el electrodo en torno del cual aparecia dicho gas daba, con otro electrodo neutro, una corriente más intensa.»

El resultado más importante de estas interesantes investigaciones, fué el que asignó la mayor intensidad á la corriente secundaria producida por un voltámetro de electrodos de plomo. Midiendo M. Planté la fuerza electromotriz desarrollada en un voltámetro de esta clase, despues de la interrupcion de la corriente primaria, vió que «era igual á cosa de vez y media (de 1'48 á 1'49) la del elemento voltaico más enérgico, como el de Grove ó Bunsen.»

Esto sugirió la idea de construir elementos secundarios y de reunirlos en forma de batería, de modo que condensaran ó acumularan el trabajo de la pila voltaica, á la manera que se condensa la electricidad estática con conductores de gran superficie separados por una materia aisladora. Planté ha dado varias formas á los aparatos basados en este principio. Describamos el más perfeccionado de los que ha construido últimamente.

Este consiste en dos largas y anchas planchas de plomo enrolladas en espiral, separadas entre sí por dos pares de bandas de cautchuc de 5 milímetros de espesor y terminadas en dos plaquitas para empalmar los reóforos. Estas espiras están sostenidas por pequeños travesaños de guttapercha, é introducidas luégo en una vasija cilíndrica de vidrio llena de agua acidulada con $^1/_1$ de ácido sulfúrico. Una tapadera de cautchuc endurecido lleva las piezas metálicas destinadas á cerrar el circuito secundario, despues de estar cargado el par. Los extremos de las dos planchas de plomo de éste comunican por medio de dos piezas G y H (fig. 144) con los polos de una pila compuesta de dos elementos Bunsen de pequeña dimen-

sion, así como con dos plaquitas de cobre M y M'. Una de estas está en comunicacion constante con la pinza A'; la otra se puede poner á beneplácito en comunicacion con la pinza A

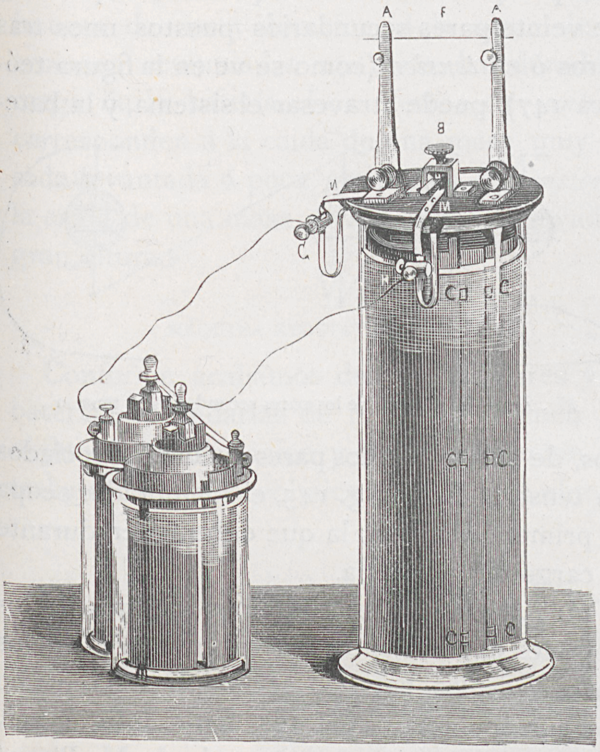


Fig. 144.—Elemento ó par secundario de una batería Planté

mediante el boton B y una plaquita de cobre R. A estas dos pinzas se empalman los hilos F entre los cuales se quiere hacer pasar la corriente secundaria.

El par secundario constituido de tal suerte no está dotado desde un principio de toda su energía. Necesita estar *formado, preparado, envejecido,* segun la expresion del inventor. «Cuando un par secundario es nuevo, dice Planté, cuando recibe por primera vez la accion de la pila primaria, sólo produce efectos de corta duracion; pero si se la hace atravesar muchas veces sucesivamente, ya en un sentido ó ya en otro, durante un espacio de tiempo bastante largo para producir el depósito de peróxido de plomo, ora en una plancha ó bien en otra, con alternativas de reposo de muchos dias, los efectos secundarios ganan mucho en duracion é intensidad. Un par formado convenientemente (1) puede dar descargas de gran duracion relativa, «enrojecer por ejemplo un alambre de platino de medio milímetro de diámetro por espacio de veinte minutos y otro de $^2/_{10}$ de milímetro durante más de una hora.» Además, conserva largo tiempo su carga. Un par secundario bien formado, que ha recibido por espacio de algunas horas la corriente de la pila primaria, abandonándolo despues á sí mismo, sin cerrar el circuito, por espacio de ocho y hasta de quince dias, puede dar aún una corriente bastante intensa para enrojecer algunos instantes un alambre de platino de medio milímetro de diámetro.

Los pares secundarios de electrodos de plomo que acabamos de describir resuelven el problema que consiste en *acumular la cantidad* de electricidad producida por un generador voltaico (2), pero no pueden dar una tension superior á la del mismo generador. Para conseguirlo, ha construido M. Planté aparatos en que se pueden asociar en tension los pares secundarios. La figura 145 representa una batería secundaria de veinte pares puestos en dos filas en un armazon que lleva en su parte superior una pieza CC' con la cual se pueden asociar los elementos en cantidad ó en tension. Diremos cuál es el motivo de la adopcion de este *conmutador.*

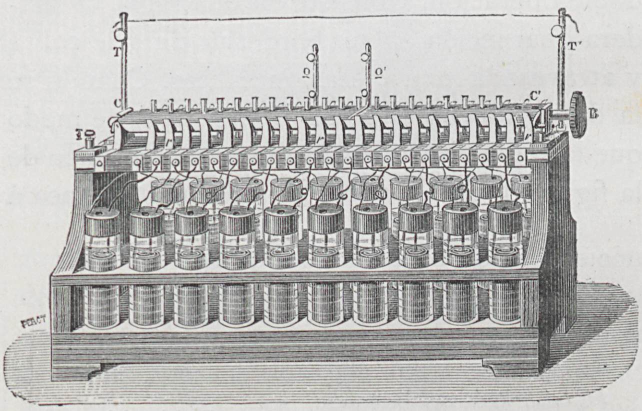


Fig. 145.—Batería secundaria de Planté

Cuando se quiere cargar la batería, los elementos deben estar combinados ó asociados en cantidad, de modo que la corriente de la pila

(1) «Cuando se considera suficientemente *formado* un par secundario, los intervalos de reposo de muchos meses, léjos de ser útiles, como para la misma operacion de la *formacion,* tenderian á aumentar la resistencia de los pares, y á hacer su carga más larga y difícil. Es pues preferible cargarlos de vez en cuando, ó mantenerlos constantemente cargados con una pila débil, para evitar que en la superficie de la plancha positiva se forme una capa de protóxido de plomo poco conductora, procedente de la reduccion lenta y espontánea del peróxido de plomo.» (*Investigaciones sobre la electricidad,* por Gaston Planté, Paris, 1879.)

(2) La pérdida no excede de $^1/_{10}$.

de Bunsen (que suponemos siempre formada de dos elementos) no encuentre más resistencia que la fuerza electromotriz inerte de un solo elemento, cuya superficie se hace veinte veces mayor. La figura teórica 146, en que cada par está representado por dos planchas P_1P_2, P_3 P_4..... etc., indica este primer modo de asociacion; todas las planchas de la fila impar P_1P_3..... comunican entre sí y adquieren una carga negativa, y del mismo modo, todas las de la fila par la adquieren positiva.

De esta suerte, la corriente de la pila primaria, que quedaria detenida por la interposicion de veinte pares secundarios puestos unos tras otros ó en *tension* (como se ve en la figura teórica 147), puede atravesar el sistema, y la bate-

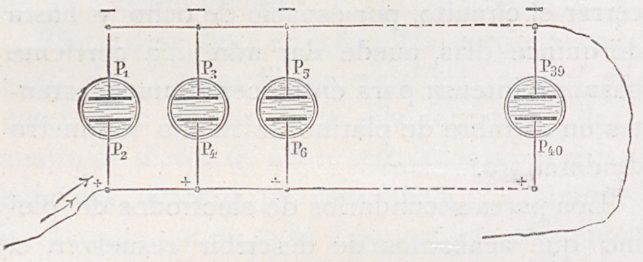


Fig. 146.—Asociacion de los pares secundarios en cantidad

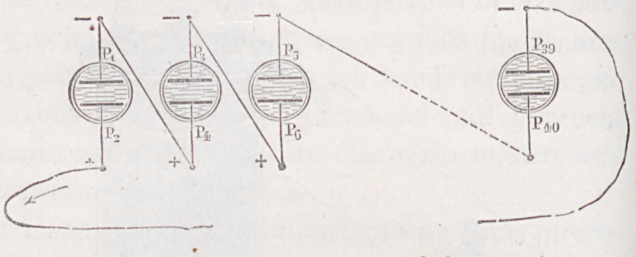


Fig. 147.—Asociacion de los pares secundarios en tension

ría se carga. Una vez cargada, se da vuelta al conmutador; entónces, por el contrario, la comunicacion con la pila primaria queda interceptada, los veinte pares secundarios resultan combinados en tension, y como, segun hemos visto más arriba, la fuerza electromotriz de cada uno de ellos viene á ser vez y media la de un elemento Bunsen, resultan para la descarga efectos iguales á los que se obtendrian con una pila Bunsen de treinta elementos.

Digamos ahora una palabra acerca de la disposicion del conmutador que hace posible esta doble operacion. Consiste en una regla de madera guarnecida en sus bordes de tiras de cobre y atravesada por piezas metálicas. Cuando se la da vuelta con el boton B (fig. 145) de modo que la regla vista de canto tenga la posicion de la fig. 148, cada banda longitudinal *gg'* toca á

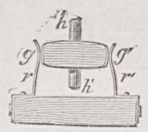


Fig 148.—Posicion del conmutador para la asociacion de los pares en cantidad

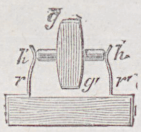


Fig. 149.—Posicion del conmutador para la asociacion de los pares en tension

la vez, la primera los muelles que como *r* comunican con las planchas pares de los elementos, y la segunda con los muelles *r'* que están empalmados con las planchas pares; todos los elementos están asociados en superficie. Volviendo la regla hasta que forme ángulo recto con su primera posicion, las piezas metálicas *hh'* (fig. 149) tocarán dichos muelles dos á dos, de suerte que los pares quedarán asociados en tension. En la fig. 145, el conmutador ocupa la primera posicion, la que debe tener durante la carga de la batería.

Más adelante describiremos algunos de los notables experimentos que el inventor de los pares y de las baterías secundarias ha hecho con sus poderosos aparatos. En el ínterin, terminaremos esta reseña, tomando de M. Planté una comparacion que segun creemos hará comprender la importancia del uso que ha sabido hacer de unas corrientes cuyos efectos sólo se les habia ocurrido neutralizar á los físicos. «Los pares secundarios, dice, funcionan como aparatos acumuladores ó trasformadores del trabajo de la pila voltaica, al modo de esas máquinas tan usadas en mecánica, y que sin ser motoras por sí mismas, sirven para acumular ó trasformar las fuerzas. Se puede comparar con exactitud un par secundario aislado, de mayor ó menor superficie, con una simple palanca de variable longitud; el sistema más complejo de la batería, compuesto de cierto número de pares secundarios que se puede descargar como se quiera en *cantidad* ó en *tension*, es enteramente análogo á la máquina conocida en mecánica con el nombre de *moton*. Es sabido que en esta máquina una masa pesada, levantada poco á poco á gran altura, mediante una serie de esfuerzos sucesivos, queda en seguida abandonada á sí misma, y efectúa con su caida y en forma de un solo y considerable esfuerzo, la mayor parte del trabajo invertido durante cierto tiempo. En la batería secundaria, la suma de las acciones

químicas producidas por un débil generador de electricidad distribuida en un gran número de pares secundarios desarrolla una suma de fuerzas electromotrices que, reunidas al cerrarse el circuito, equivalen, en forma de corriente muy intensa de corta duracion, á la suma de las acciones acumuladas miéntras ha durado la carga de la batería. Los efectos de *cantidad* corresponden á la caida de una masa muy pesada levantada á poca altura; los de *tension*, á la caida de una masa ménos pesada elevada á gran altura.»

V

MÁQUINA REOSTÁTICA PLANTÉ

Conforme acabamos de ver, los pares y las baterías secundarias de M. Planté tienen por objeto la acumulacion y la trasformacion del trabajo de la pila voltaica, pudiéndose obtener con ellos á beneplácito efectos temporales de *cantidad* ó de *tension* muy superiores á los de la pila empleada. El mismo físico ha ideado una nueva máquina á la que ha dado el nombre de *máquina reostática*, cuyo objeto es muy diferente, pues que consiste en «convertir una cantidad dada de fuerza eléctrica pronta á desarrollar una corriente dinámica, en otra cantidad correspondiente de efectos eléctricos en forma estática.» Habiendo observado muchas veces que con baterías secundarias de 600 á 800 elementos se podia cargar rápidamente un condensador de placa aisladora bastante delgada de vidrio, mica, guttapercha, parafina, etc., reunió cierto número de condensadores de mica cubierta de estaño, los puso como los pares de sus baterías secundarias, y resultó así la máquina de que acabamos de hablar.

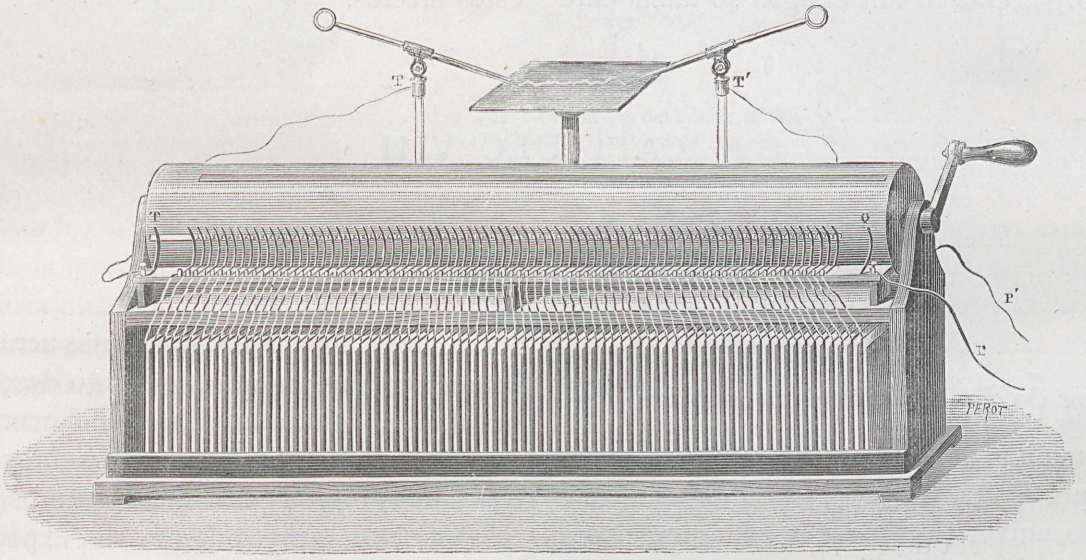


Fig. 150.—Gran máquina reostática de Planté

La figura 150 representa una máquina reostática de 80 condensadores, construida con arreglo á los datos que quedan indicados. Los condensadores consisten en láminas de mica, de 18×14 centímetros, recubiertas de hojas de estaño y separadas por placas de cautchuc endurecido que, aislándolas, les dan bastante rigidez para que se mantengan siempre unas junto á otras en posicion vertical. Al extremo de cada armadura van empalmados hilos de cobre muy finos recubiertos de guttapercha. El conmutador es un cilindro de ebonita de 1 metro de largo por 15 centímetros de diámetro, provisto de placas metálicas longitudinales y de piezas metálicas como las de las baterías secundarias, con las cuales se puede tambien reunir los condensadores en superficie ó en tension, como se quiera. Cuando el conmutador está colocado de modo que sus dos bandas metálicas tocan con los muelles que comunican con las armaduras pares por un lado y con las impares por otro, todos los condensadores no forman más que uno solo de gran superficie, que se carga haciendo que las bornas P, P' comuniquen con los polos de la batería. Si, por el contrario, el cilindro está vuelto como lo indica la figura, los condensadores están reunidos en tension. Los brazos T y T' del excitador comunican con las armaduras de los dos últimos condensadores, y miéntras tanto la batería ó pila

que ha cargado la máquina queda fuera de circuito.

«Cuando se da vueltas al conmutador, dice M. Planté, brotan chispas en todos los puntos en que las bandas metálicas tropiezan con los muelles que van á dar á los condensadores para cargarlos en superficie, y trasforman el cilindro en un tubo centelleante. Tambien aparece otra línea de chispas cuando todos los condensadores están reunidos en tension y resulta la descarga entre los brazos del excitador.

»Si se interpone en el circuito de la batería secundaria una columna de agua destilada, ésta parece continuamente descompuesta miéntras la máquina funciona. En realidad, no ocurre esta descomposicion sino en el momento en que brotan las chispas *de carga;* porque, durante la descarga, el tubo con el agua se halla enteramente fuera de circuito, lo mismo que la batería secundaria.

»La cantidad limitada de electricidad dinámica almacenada en la batería secundaria se va gastando poco á poco durante la carga misma de los condensadores; pero este consumo es muy lento, y cada carga de aquellos y por consiguiente cada descarga, corresponde á una cantidad reducidísima de accion electro-química consumida en la batería.»

Aumentando el número de condensadores y disminuyendo el espesor de las placas aisladoras ha conseguido M. Planté hacer funcionar sus máquinas reostáticas y que produjeran todos los efectos de las demás máquinas eléctricas y carretes de induccion, sin emplear baterías de más de 100 pares secundarios, y áun de 30 á 40. Ya tendremos ocasion de describir algunos de estos efectos.

CAPÍTULO VIII

EL ELECTRO-MAGNETISMO

I

ACCION DE LAS CORRIENTES SOBRE LA AGUJA IMANTADA

Veinte años despues del descubrimiento de la pila por Volta, Œrsted, físico danés, profesor en la universidad de Copenhague, descubrió un hecho nuevo de importancia capital, cual es el de que la corriente eléctrica actúa sobre la aguja imantada. Mucho tiempo hacia que se sospechaba que hubiese cierta relacion entre los fenómenos magnéticos y los eléctricos; habíanse notado las perturbaciones experimentadas por la brújula en los barcos en que caia un rayo ó en cuyos palos aparecia el fenómeno eléctrico conocido con el nombre de San Telmo; y se sabia que las descargas de las baterías influian en las agujas imantadas colocadas cerca de los aparatos. Pero todos estos casos sólo daban ideas vagas sobre la correlacion de que se trata.

En 1820, en el mismo año en que Œrstedt hizo su descubrimiento, Ampère estudió y formuló las leyes de esta accion, demostrando además que las corrientes mismas actúan sobre las corrientes. Por último, Arago descubrió la imantacion del hierro dulce y del acero por la corriente de la pila. Los experimentos de estos tres sabios fueron otros tantos puntos de partida para un gran número de experimentos nuevos, que cambiaron poco á poco la faz de esta parte de la ciencia, demostrando que el magnetismo y la electricidad son manifestaciones distintas de una misma causa. Más adelante veremos que los mismos descubrimientos que han revelado la verdadera teoría del magnetismo y contribuido á que la teoría hiciese tantos progresos, han sido fecundísimos en aplicaciones ingeniosas y útiles.

Volvamos al experimento de Œrsted.

Supongamos una aguja imantada suspendida sobre un eje vertical, y móvil en un plano horizontal. Sabemos que en este caso se coloca por sí misma en direccion del meridiano magnético, formando un ángulo constante con la línea meridiana geográfica Norte-Sur. Pongamos por encima de la aguja, paralelamente á

ella y á corta distancia, un hilo metálico cuyos extremos se empalman á los reóforos de una pila. Tan luégo como pasa la corriente, la aguja se desvia de su posicion, se aparta del meridiano magnético y se pone en cruz con la corriente. En lugar de poner el hilo encima de la aguja supongámosle colocado debajo y á corta distancia; la aguja da una media vuelta completa, colocándose de nuevo en cruz con la corriente. Repitamos ambos experimentos cambiando la direccion de la corriente voltaica; si ántes iba de Sur á Norte, hagámosla ir ahora de Norte á Sur. La aguja se desvia tambien, y del mismo modo que ántes, se coloca en cruz con la corriente, pero en direcciones precisamente opuestas á las que la corriente directa la hacia ocupar.

Por último, si en vez de poner el hilo paralelamente á la aguja, se le pone perpendicular á su direccion, enfrente de uno de los polos, se observarán en ella las mismas desviaciones, correspondientes á las cuatro posiciones nuevas que se pueden dar á la corriente voltaica; de arriba abajo, y de abajo arriba y enfrente del polo austral ó del boreal de la aguja.

Tales son los experimentos de Œrsted. Véase

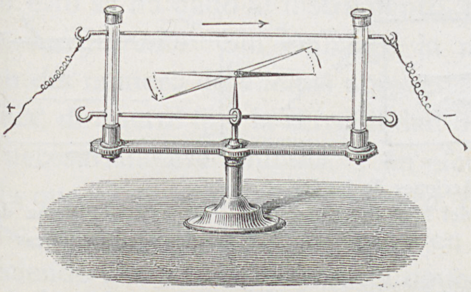


Fig. 151.—Accion de una corriente eléctrica sobre la aguja imantada

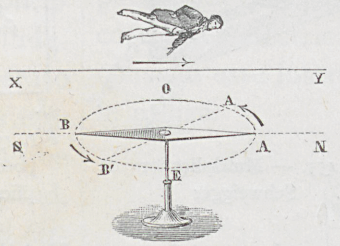


Fig. 152.—Desviacion del polo austral á la izquierda, por efecto de una corriente superior

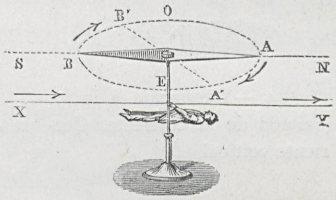


Fig. 153.—Desviacion á la izquierda de la corriente. Corriente inferior

ahora cómo logró Ampère formular en un solo enunciado la ley de estas variaciones. Concibió la ingeniosa idea de personificar la corriente, de figurarla en un personaje tendido en direccion de la misma, con la cara vuelta siempre hácia el centro de la aguja, en todas las posiciones posibles. Supónese además que la corriente que, como es sabido, marcha del polo positivo de la pila al polo negativo recorriendo el hilo, entra por los piés del personaje y sale por su cabeza. Esto sentado, resulta que la corriente tiene derecha é izquierda, que son las de la figura en cuestion, y por consiguiente hé aquí el sencillo enunciado en el cual ha reunido Ampère todos los casos á que puede dar orígen el experimento de Œrsted.

Cuando una corriente eléctrica actúa sobre la aguja imantada, el polo austral de ésta—que es siempre el que se dirige al Norte,—*se desvia hácia la izquierda de la corriente.*

Las figuras 152 y 153 representan el caso en que la corriente marcha en sentido paralelo á la aguja y de Sur á Norte.

En el caso de que la corriente sea superior, el polo austral A se desvia en A′ á la izquierda de aquella, es decir, hácia el Oeste; si la corriente pasa por debajo de la aguja, tambien se desviará el polo austral A en A′ á la izquierda de la misma, pero entónces este polo mirará al Este. Si se cambia la direccion de la corriente sin dejar de ser paralela á la aguja, es decir, si se la hace marchar de Norte á Sur, el polo austral se desviará al Este cuando la corriente sea superior, y al Oeste cuando sea inferior á la aguja. Por último, cuando aquella es vertical, puede ser ascendente ó descendente, y dispuesta, ya frente al polo boreal de la aguja, ó bien frente á su polo austral. En el caso representado en la figura 154, se ve el polo austral desviado al Este, es decir, á la izquierda de la corriente. Dejamos á la consideracion del lector el cuidado de discurrir la direccion de la desviacion de la aguja en los demás casos, cosa fácil, gracias al enunciado de Ampère.

Biot, Savart y Laplace han estudiado las leyes por que se rigen estas desviaciones; de sus estudios sólo retendremos el hecho de que la influencia de la corriente depende de su intensidad, y por consiguiente de la superficie de los elementos de la pila empleada, intensidad que disminuye á medida que aumenta la distancia de la aguja imantada: *La intensidad de*

la fuerza electromagnética está en razon inversa de la simple distancia. Verdad es que aquí tratamos de una corriente indefinida, y la fuerza en cuestion es la resultante de todas las acciones elementales de las porciones de corriente que son capaces de influir en la aguja. Si, como lo ha hecho Laplace, tan sólo se considerase la fuerza electromagnética de un elemento de corriente, se encontraria en ella la ley de las demás fuerzas físicas que *varian en razon inversa del cuadrado de la distancia.* No hay que olvidar que cuando la aguja se halla en presencia de una corriente voltaica, está sometida á la vez á dos influencias, la de la corriente misma y la de la Tierra, que influye en la aguja como un iman. Las desviaciones observadas son, pues, resultado de estas dos acciones simultáneas. Si por cualquier medio se consigue hacer la direccion de la aguja imantada independiente de la accion de la Tierra,—siendo

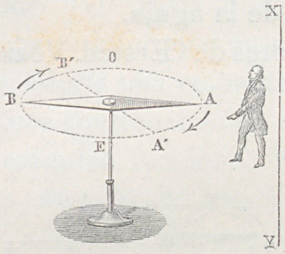


Fig. 154. — Desviacion á la izquierda de la corriente. Corriente vertical

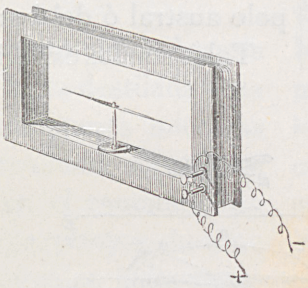


Fig. 155. — Multiplicador de Schweigger

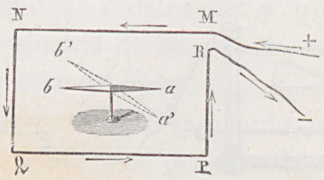


Fig. 156. — Acciones de las varias porciones del hilo en el multiplicador

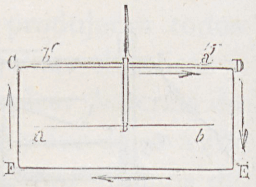


Fig. 157. — Sistema de dos agujas astáticas

entónces lo que se llama una aguja astática,— la corriente la obligará siempre á desviarse en ángulo recto, cualquiera que sea su intensidad, y en este caso la desviacion indica tan sólo la existencia de la corriente, sin probar nada acerca de su energía.

Veamos ahora cómo se ha utilizado la accion de las corrientes eléctricas sobre la aguja imantada para construir aparatos que sirven á la vez para comprobar la existencia de las corrientes más débiles y medir su intensidad.

II

MEDICION DE LA INTENSIDAD DE LAS CORRIENTES —GALVANÓMETROS

Ampère fué el primero á quien se le ocurrió utilizar el descubrimiento de Œrsted para medir la intensidad de las corrientes; pero al físico aleman Schweigger se debe la invencion del aparato en que está basada la construccion de los galvanómetros así como la feliz idea de multiplicar la accion de la electricidad sobre la aguja imantada de modo que denotase la existencia de la corriente más débil.

El multiplicador de Schweigger (fig. 155) consiste en un marco de madera en el cual está enrollado muchas veces un alambre de cobre. El hilo metálico está recubierto en toda su longitud de una sustancia aisladora, ya sea guttapercha, seda ó algodon, de suerte que al entrar una corriente eléctrica por un extremo del hilo y al salir por el otro, no puede pasar de una espira á la siguiente sin haber recorrido toda su extension; en una palabra, tiene que recorrer todas las espiras sucesivas. Si se coloca el cuadro verticalmente sobre uno de sus lados en el plano del meridiano magnético, y se pone en el interior una aguja imantada suspendida libremente sobre un eje vertical, se tendrá un instrumento muy propio para marcar, por las desviaciones de la aguja, la existencia de una corriente eléctrica por débil que sea. Para esto bastará empalmar los extremos del hilo del multiplicador con los dos reóforos de la pila ó de cualquier otro circuito voltaico; apénas quedará este cerrado, la mayor ó menor desviacion de la aguja indicará la presencia de la corriente.

Analicemos ahora lo que ocurre y veamos cómo resulta multiplicada la accion de la corriente en virtud de la disposicion que acabamos de describir. Consideremos (fig. 156) una de las vueltas del hilo alrededor del marco; la corriente pasa de M á N, luégo á Q y á P, y á partir de R se aleja de la aguja. Pues bien, teniendo en cuenta el enunciado de Ampère, se verá que cada una de las cuatro porciones

de la corriente tiende á desviar el polo austral *a* hasta *a'*, por consiguiente, hácia el Este, ó si se quiere, delante de la figura; cada una de ellas obra como una corriente aislada, como una porcion de corriente indefinida próxima á la aguja. La desviacion total será pues más fuerte que si la corriente no hiciera más que seguir uno de los lados del rectángulo. Ahora bien, en la espira siguiente, la corriente obra de nuevo del mismo modo, sucediendo lo propio en todas las espiras sucesivas, de suerte que su influencia en la aguja imantada resulta multiplicada por el número de vueltas del hilo. Por esto se ha dado al instrumento el nombre de *multiplicador*. Sin embargo, la multiplicacion del número de vueltas no puede ser indefinida, de suerte que la sensibilidad del aparato es necesariamente limitada. Y en efecto, á medida que se aumenta dicho número, el hilo que debe recorrer la corriente crece en longitud, creciendo á la vez la resistencia opuesta al circuito por el hilo. Cuanto más débiles sean las corrientes que se trata de medir, menor debe ser el número de espiras, y únicamente se le puede aumentar sin gran inconveniente cuando se tengan que medir corrientes de gran intensidad.

Segun hemos dicho ya, la aguja imantada está sujeta á dos fuerzas, la accion directriz de la Tierra, en virtud de la cual se coloca en el meridiano magnético, y la accion de la corriente, que tiende á hacerla tomar una posicion perpendicular á la primera. La resultante de estas dos acciones da lugar á la desviacion de la aguja. Para aumentar esta desviacion y dar mayor sensibilidad al multiplicador, ocurriósele á Nobili sustituir la aguja con un sistema de dos agujas imantadas paralelas *ab a'b'*, pero fijadas en un mismo eje, de modo que sus polos del mismo nombre estén situados en sentido inverso (fig. 157). El eje está suspendido de una hebra de seda sin torcer, y si las agujas tienen la misma fuerza magnética, su sistema será *astático*, es decir, permanecerá en equilibrio, cualquiera que sea el ángulo que forme con el meridiano. Sin embargo un sistema rigurosamente astático no llenaria el objeto propuesto, que consiste en medir la intensidad de las corrientes por la desviacion, puesto que entónces esta llegaria siempre, segun hemos dicho, al máximum de 90°, cualquiera que fuese la debilidad de la corriente. Pero si una de las agujas, por ejemplo la inferior, está un poco más imantada que la superior, el sistema continuará sometido á la influencia de la Tierra; mas si las agujas del sistema están sumamente imantadas, esta accion será muy débil, y por consiguiente la accion de las corrientes, por intermedio del multiplicador, aumentará considerablemente.

La introduccion de las agujas compensadas en el multiplicador de Schweigger inspiró á Nobili la idea de la construccion del *reómetro* ó *galvanómetro*, aparato sumamente sensible para comprobar la existencia y direccion de las corrientes eléctricas más débiles. Véase en qué consiste este instrumento (fig. 158) y cómo se le utiliza.

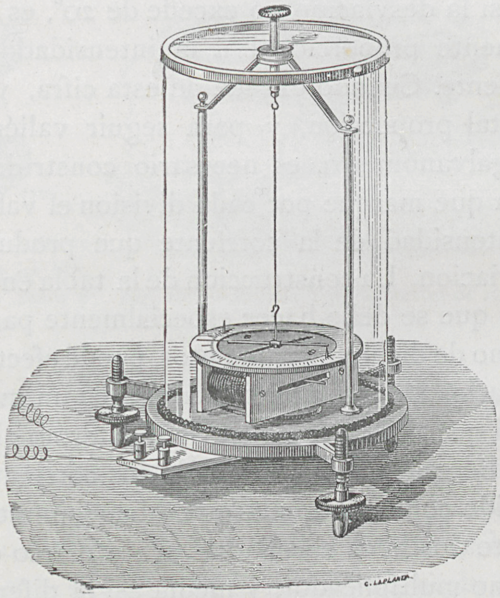


Fig. 158.—Galvanómetro

El marco de marfil alrededor del cual se enrolla el hilo multiplicador lleva encima un cuadrante cuyo centro coincide con el hilo de seda cruda que sostiene las dos agujas. Se puede mover este marco en un plano horizontal mediante un tornillo exterior. Empiézase por ponerlo en el plano del meridiano magnético, reconociéndose que lo está cuando el cero de la graduacion del cuadrante corresponde con una de las puntas de la aguja. Entónces se tiene la seguridad de que las espiras del hilo de cobre son paralelas á las dos agujas del sistema. El marco ha arrastrado en su movimiento una placa rectangular de marfil que lleva dos botones de laton, á cada uno de los cuales va á parar una

punta del hilo del multiplicador, empalmándose á dichos botones los reóforos de la corriente cuya direccion é intensidad se desea averiguar. Al cerrarse el circuito, la corriente recorre las espiras, y la aguja superior se desvia á la derecha ó á la izquierda de su posicion de equilibrio; el sentido de esta desviacion indica, segun la ley de Ampère, el de la corriente. El aparato está provisto de tornillos de nivel, para ponerlo perfectamente horizontal, y de un fanal de vidrio que sirve para resguardar el hilo suspensor y las agujas de las agitaciones del aire exterior.

Por lo que respecta á la intensidad de la corriente, depende del ángulo que forma la aguja con el meridiano magnético, es decir, del arco recorrido por una de sus puntas á partir del cero de la graduacion. Se ha observado que si la desviacion no excede de 20°, es sensiblemente proporcional á la intensidad de la corriente. Cuando excede de esta cifra, ya no hay tal proporcion, y para seguir valiéndose del galvanómetro, es necesario construir una tabla que marque por cada division el valor de la intensidad de la corriente que produce la desviacion. La construccion de la tabla en cuestion, que se debe hacer especialmente para cada uno de dichos instrumentos, puede efectuarse de varios modos. Melloni empleaba un método en el que utilizaba las corrientes termo-eléctricas. Becquerel comparaba las dos corrientes de sentido contrario que atravesaban simultáneamente dos hilos enrollados en un marco de un mismo multiplicador, y medía así la diferencia de sus acciones sobre la aguja, por cuya razon daba al instrumento de tal suerte preparado el nombre de *galvanómetro diferencial*. Pero el método de graduacion más sencillo es el que consiste en intercalar en el circuito de las corrientes por medir el galvanómetro mismo y otro aparato que marque exactamente la intensidad. Este aparato, que vamos á describir ahora y que se usa principalmente cuando se han de medir corrientes intensas, es la *brújula de senos*, ó tambien la *brújula de tangentes*. M. Pouillet ha inventado ambos reómetros, que él mismo describe como sigue:

«La *brújula de tangentes*, representada en la fig. 159, se compone de un gran círculo de metal que recibe la corriente; para lo cual termina inferiormente en dos apéndices puestos en comunicacion con los dos polos de la pila por medio de dos vasos llenos de mercurio. Colócase este círculo en el plano del meridiano magnético, y su centro coincide con el de una aguja imantada corta y gruesa, suspendida de hilos sin torsion y que lleva perpendicularmente un índice bastante largo para recorrer las divisiones del círculo horizontal que debe marcar las desviaciones. Apénas pasa la corriente al círculo vertical, la aguja se desvia tanto más cuanto más intensa es aquella, siendo fácil demostrar que las intensidades de las corrientes son precisamente proporcionales á las *tangentes de las desviaciones* producidas por ellas. Basta pues observar bien en el círculo horizontal las nuevas posiciones de equilibrio que toma la aguja imantada bajo la influencia de varias corrientes.

»Siendo el generador eléctrico el mismo, se cambian las longitudes del circuito, introduciendo sucesivamente en él una serie de hilos semejantes, aunque de longitudes distintas; estos hilos, forrados de seda, están replegados sobre sí mismos y envueltos exteriormente para que se conserven bien en el mismo estado. Una de estas series está representada en la fig. 160: las longitudes son 5, 10, 40, 70 y 100 metros; solamente se ven las dos extremidades por las cuales están sucesiva ó simultáneamente introducidos en el circuito. De este modo, se hace actuar el mismo generador eléctrico en circuitos de diferente longitud, determinándose las desviaciones y por consiguiente las intensidades correspondientes.

»La *brújula de senos* está figurada en el grabado 161; el círculo vertical tiene la forma de polea para recibir en su garganta una ó muchas vueltas del hilo forrado por el cual pasa la corriente; en su centro hay tambien una aguja imantada, suspendida ó puesta sobre un eje vertical, así como una mira que corresponde con la línea media del círculo para marcar la posicion del polo austral; teniendo además un círculo azimutal inferior para determinar las desviaciones.

»Cuando el círculo vertical se halla en el plano del meridiano magnético, la aguja está en su punto de mira ó de referencia, y no bien pasa la corriente, se desvía; entónces se da vuelta al círculo vertical para seguir en su mar-

cha á la aguja y llevarle su mira, de suerte que el plano de la corriente esté siempre en el vertical de la aguja. Cuando esta se ha detenido en su nueva posicion, el círculo azimutal marca el ángulo de desviacion que es tanto mayor cuanto más considerable es la intensidad de la corriente, siendo fácil demostrar que las intensidades de esta son precisamente proporcionales á los *senos de las desviaciones* por medio de un sencillo cálculo matemático. Siendo el generador eléctrico el mismo, se cambian las longitudes del circuito introduciendo en él series de hilo, segun hemos dicho anteriormente.» (Pouillet, *Nociones generales de Física.)*

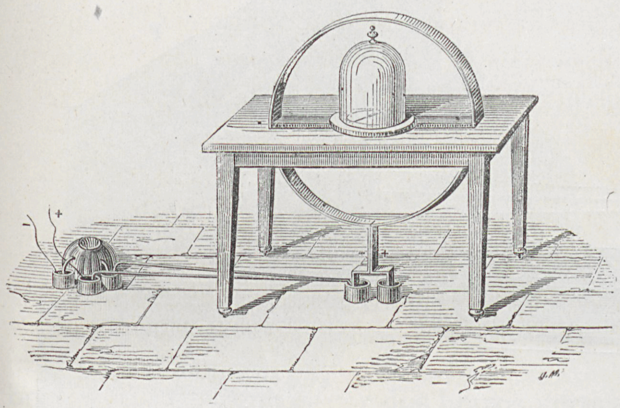


Fig. 159.—Brújula de tangentes de Pouillet



Fig. 160. — Serie de hilos para las brújulas de senos y tangentes

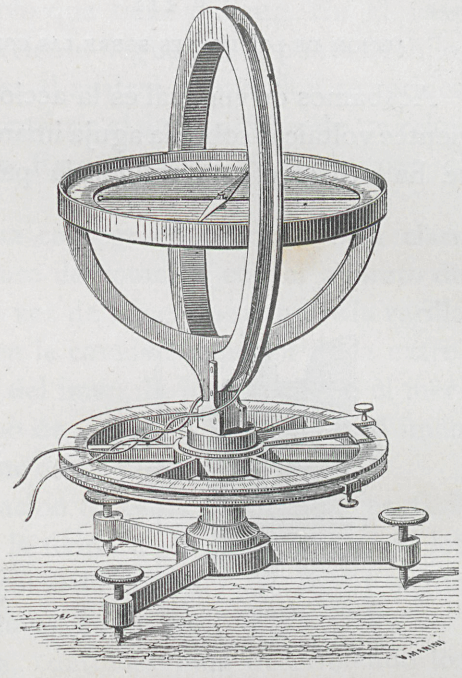


Fig. 161. — Brújula ó galvanómetro de senos de Pouillet

Sir W. Thomson ha construido un *galvanómetro de reflexion,* cuyo principio vamos á indicar. La fig. 162 representa la seccion del multiplicador ó de la bobina en cuyo centro está suspendida la aguja imantada. Esta aguja, que es muy corta (por lo regular tiene 3 milímetros de longitud) está adherida á la parte posterior de un espejillo circular, y el conjunto, que sólo pesa 65 milígramos, está suspendido de una sencilla hebra de seda cruda y metido con la bobina en un cilindro de laton D (fig. 163). Dos bornas fijadas en una de las caras de este cilindro sirven para empalmar á ellas los extremos de los hilos de la corriente. Las oscilaciones de la aguja imantada, desviada por el paso de la corriente, se observan de este modo: En el interior de una caja abierta por un lado hay una regla horizontal con divisiones, en cuyo cero lleva una pequeña ranura por la que penetra la luz de una lámpara. El haz luminoso R atraviesa la abertura central del cilindro del galvanómetro puesto enfrente de la caja, da en el espejo de la aguja imantada y se refleja siguiendo la línea R' en el cero de la escala, cuando la aguja no se ha desviado. Tan luégo como la corriente pasa, ésta y el espejo se desvian; el haz luminoso reflejado se inclina á derecha ó á izquierda del cero de la escala, segun la direccion de la desviacion, cuya amplitud se conoce en las mismas divisiones. Por encima del cilindro del galvanómetro Thomson se ve una varilla vertical que sostiene un gran iman curvo E, débilmente imantado. Este iman gira á frotamiento duro alrededor de la varilla, pudiendo tambien correr por ella en sentido vertical. El objeto de esta disposicion consiste en evitar el tener que colocar siempre el aparato en el meridiano magnético, pues el iman curvo constituye uno artificial, cuya fuerza directriz contrabalancea la de la Tierra. Se colocan sus polos en sentido contrario de los terrestres; se busca el punto de la varilla en que la neutralizacion es completa, y en seguida se levanta un poco el iman para conservar una doble fuerza direc-

triz, suficiente para que lleve á la aguja al cero en el meridiano magnético. Tambien se construyen galvanómetros Thomson de forma astática, los cuales se emplean con multiplicadores de largo hilo. En estos cada aguja tiene su carrete de hilo correspondiente, y la corriente pasa en sentido contrario por los dos.

III

ACCION DE LOS IMANES SOBRE LAS CORRIENTES

Acabamos de ver cuál es la accion de las corrientes voltaicas sobre la aguja imantada y cómo se ha utilizado esta influencia para construir varios instrumentos de medicion de la intensidad de las corrientes, entre los cuales figuran dos aparatos de gran sensibilidad, aptos para dar á conocer la direccion é intensidad de cualquier corriente. Ahora debemos decir que los imanes ejercen en las corrientes una influencia igual á la que ellos mismos experimentan, pero de contrario sentido. Así por ejemplo, cuando se pone una barra imantada en posicion horizontal debajo ó encima de un hilo metálico que forme un circuito voltaico (fig. 165) y pueda girar alrededor de los puntos de suspension, al punto se ve que el hilo da una media vuelta

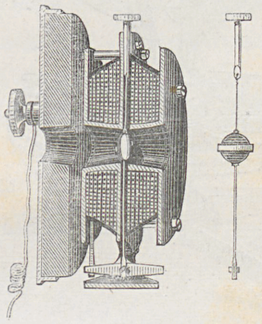


Fig. 162. — Corte del galvanómetro de reflexion de Thomson

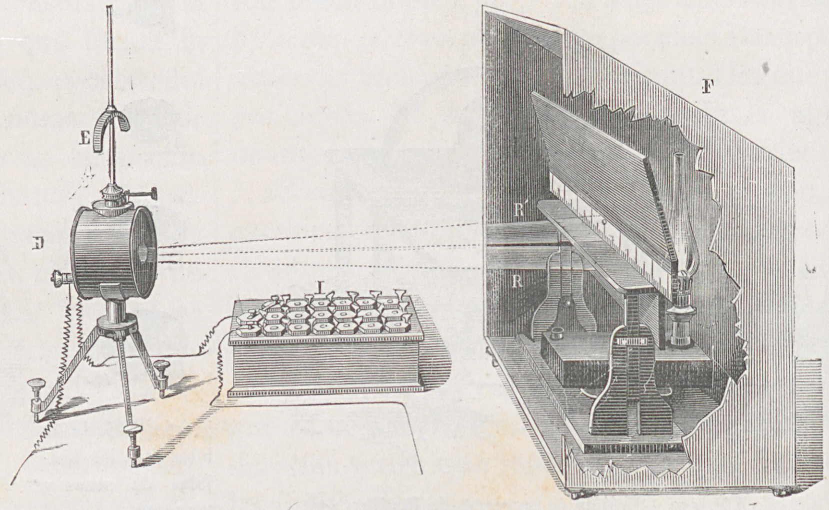


Fig. 163.—Galvanómetro de reflexion de Thomson

poniéndose en cruz con la corriente, de modo que el polo austral de la barra queda siempre á la izquierda de la porcion de corriente más inmediata á él. Si se cambia la direccion de esta, invirtiendo al efecto los reóforos, á los que están empalmados los dos extremos del hilo, la corriente efectúa al instante una rotacion de 180° sobre sí misma, haciendo que su plano quede en una posicion perpendicular á la barra imantada, y por lo tanto, el polo austral de esta última seguirá estando, segun el enunciado de Ampère, á la izquierda de la corriente.

La experiencia, pues, comprueba lo que podia preverse basándose en el solo principio de la igualdad de accion ó de reaccion. La dificultad aquí consistia en dar mobilidad á la corriente sin interrumpir su continuidad, lo cual logró Ampère gracias á la ingeniosa combinacion discurrida por él y que aplicó, variándola de todos modos, en los numerosísimos experimentos sobre las acciones recíprocas de las corrientes y de los imanes.

La fig. 166 representa esta combinacion, que consiste en dos columnas metálicas fijadas verticalmente en una peana á la cual van á parar los reóforos positivo y negativo de la pila.

Sobre estas columnas hay dos brazos horizontales que llevan en sus extremos dos capsulitas x, y, cada una de las cuales contiene una gotita de mercurio. El hilo conductor, doblado en forma de rectángulo ó en la que convenga segun el experimento que se haya de hacer, termina en un doble codo y en dos puntas que se introducen en las cápsulas, de suerte que se hallan á la vez en la prolongacion una de otra y en la vertical del centro de gravedad del conductor. Este es, por lo tanto, móvil; su plano puede girar á uno y otro lado alrededor de la vertical y orientarse de cualquier modo, segun las condiciones de equilibrio consiguientes á las acciones electro-magnéticas que se trata de estudiar. Esta disposicion es la que ha servido para el experimento que acabamos de describir.

Poco despues del descubrimiento de los primeros fenómenos electro-magnéticos, Faraday hizo un experimento en el cual la accion de un iman daba orígen á un movimiento continuo de rotacion de una corriente. Un círculo de cobre (fig. 167), sostenido por dos brazos verticales del mismo metal, forma un conjunto que puede girar alrededor de una columnita de cobre sobre la cual hay un vasito con una gota de mercurio. El anillo de cobre penetra en el agua acidulada de que está llena una vasija de zinc en forma de corona. La accion del ácido sobre el zinc produce una corriente que circula del anillo de cobre al zinc por la columnita vertical y que sube por los dos brazos del conductor. Acercando entónces el polo A de un iman debajo de la vasija de zinc, en la abertura anular central, se ve al anillo tomar un movimiento continuo de rotacion, cuya direccion cambia si se da vuelta al iman presentando el otro polo.

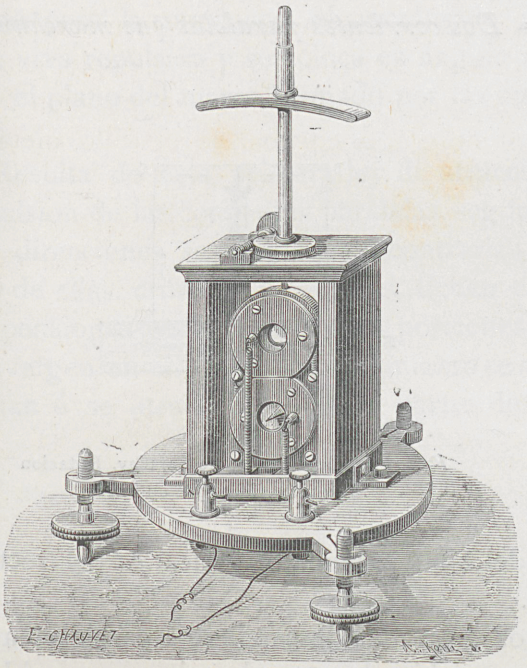


Fig. 164.—Galvanómetro de reflexion astático de Thomson

Ampère hizo el experimento contrario, el del movimiento de rotacion de un iman producido por una corriente; la fig. 168 muestra cómo producia el ilustre físico esta rotacion. En una probeta de vidrio llena de mercurio, hacia flotar un iman cilíndrico, sostenido en posicion vertical por un contrapeso de platino atornillado debajo de él. La base superior del iman estaba ahuecada; echábase en ella un poco de mercurio en el cual penetraba la punta de un conductor vertical puesto en comunicacion con un polo de la pila. El otro polo lo estaba por medio de un hilo con el mercurio de la probeta. No bien pasa la corriente, cuando el iman empieza á girar alrededor de su eje. La direccion del movimiento depende de la de la corriente y cambia con ella; dependiendo asimismo de la naturaleza del polo que tiene delante. En el caso de que la corriente llegue por la punta del hilo, si este polo es el austral, la rotacion se verifica en sentido contrario al de las agujas de un reloj, es decir, de Este á Oeste pasando por el Norte.

Faraday ha conseguido producir otra clase de movimiento de rotacion con el aparato de Ampère. En vez de hacer que penetre la varilla conductora en la cavidad superior de la extremidad polar del iman, la introducia en el mercurio del tubo de vidrio. En este caso, el iman gira alrededor de la varilla.

La explicacion de estos fenómenos es fácil si se admite la teoría de la constitucion de los imanes, tal como la formuló Ampère y segun la expondremos en breve.

Por ahora, continuaremos describiendo los interesantes fenómenos descubiertos por este gran físico, y que tienen por objeto la influencia recíproca de unas corrientes voltaicas sobre otras.

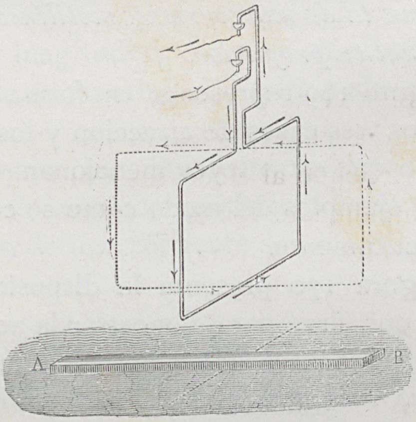


Fig. 165.—Accion de un iman sobre una corriente

IV

ACCION DE UNAS CORRIENTES SOBRE OTRAS

Cuando se ponen dos corrientes ó dos porciones de corriente en presencia una de otra, se puede considerar la direccion en que circula

cada una de ellas, la forma ó la extension de las porciones de los conductores que actúan unos sobre otros, y finalmente la posicion relativa de los elementos de las corrientes consideradas. Así pues, las corrientes pueden ser rectilíneas, circulares, sinuosas, paralelas ú oblicuas; y en los dos últimos casos, del mismo sentido ó de sentido contrario. Los numerosos casos que se presentan así, y cuyo estudio forma la rama de la ciencia á la que se da el nombre de ELECTRODINAMICA, se rigen por leyes muy sencillas, que Ampere ha reducido á las fórmulas siguientes:

1.ª *Dos corrientes paralelas que marchan en la misma direccion se atraen, y se repelen si marchan en sentido contrario.*

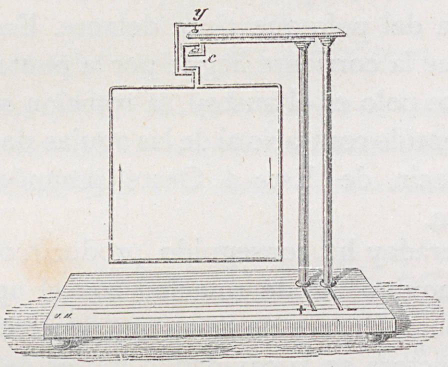


Fig. 166.—Aparato de Ampère para el estudio de los fenómenos electromagnéticos

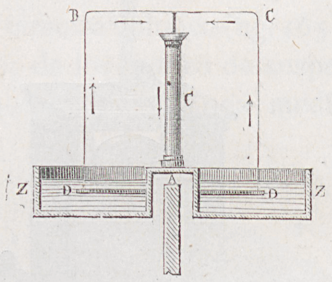


Fig. 167.—Experimento de Faraday. Rotacion de una corriente por un iman

2.ª *Dos corrientes no paralelas se atraen, si ambas se acercan ó se alejan á la vez del vértice del ángulo formado por sus direcciones; se repelen, si una de ellas se acerca á dicho vértice, miéntras la otra se aleja de él.*

3.ª *La accion de una corriente sinuosa es la misma que la de una corriente rectilínea de longitud igual en proyeccion.*

La figura 169 representa en forma de diagrama los tres casos de atraccion y los dos de repulsion que estas leyes mencionan. Citemos algunos ejemplos del modo cómo se comprueban prácticamente.

La figura 170 presenta la disposicion del aparato que sirve para demostrar la accion de las corrientes paralelas. Consiste éste en dos columnas metálicas puestas en comunicacion con los polos de una pila. La corriente sube por la columna de la izquierda y por el brazo horizontal que reune los remates de las columnas, entra en el rectángulo de alambre de cobre que forma el circuito móvil alrededor del eje vertical que pasa por las dos puntas y por las cápsulas de mercurio, y recorre todas sus partes en el sentido indicado por las flechas; sale por el brazo superior horizontal, y baja por la columna de la derecha. Resulta de aquí que la corriente ascendente de la primera columna *t*, es paralela á la del lado inmediato vertical *ed* del rectángulo.

Dos corrientes descendentes paralelas atraviesan tambien la segunda columna *v* y el lado contiguo opuesto *bc* del mismo rectángulo. Pues bien, la experiencia demuestra que estas partes vecinas se atraen; pues si se las aleja una de otra, en virtud de una desviacion angular del circuito móvil, se acercan vivamente y

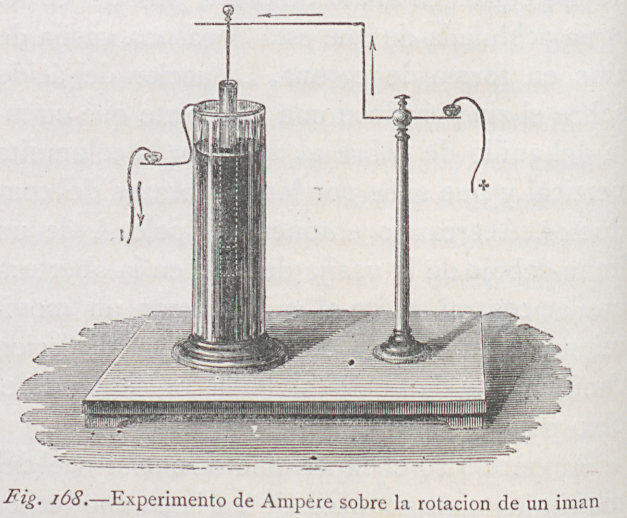


Fig. 168.—Experimento de Ampère sobre la rotacion de un iman por una corriente

se colocan de modo que el plano de este circuito coincide con el de las columnas. Luego las corrientes paralelas del mismo sentido se atraen.

Ahora, si se reemplaza el rectángulo que acaba de servir para este experimento con el de la figura 171 que está construido de modo que lo

pueda recorrer la corriente en sentido opuesto, las porciones verticales inmediatas de cada columna y de los lados del rectángulo estarán cruzadas por corrientes siempre paralelas, pero de sentidos contrarios. Así pues, cuando se las acerca respectivamente unas á otras, tan luégo como pasa la corriente, el rectángulo sufre una viva repulsion y se coloca en ángulo recto con el plano del marco formado por las columnas.

Resulta de esta primera ley de atraccion ó repulsion de las corrientes paralelas, segun que sus direcciones sean iguales ó contrarias, que dos de ellas, cruzadas ú oblícuas, tienen cierta propension á ser paralelas; las porciones que convergen en el punto de cruzamiento se aproximan ó se atraen; las que, á partir de este punto, se dirigen en sentido contrario, se alejan ó se repelen. Compruébanse con facilidad estas consecuencias, quedando así demostrada la ley de las corrientes no paralelas.

Cuando se considera las dos partes consecutivas de una misma corriente que forma cierto ángulo, deben repelerse mutuamente segun lo que acabamos de ver, y en su límite, ó sea cuando el ángulo es igual á 180°, lo cual equivale á considerar dos partes consecutivas en línea recta, sucede tambien así. Esto se comprueba asimismo prácticamente del modo siguiente. Llénase de mercurio una cubeta rectangular de madera dividida en dos porciones (fig. 172), introduciéndose en una el hilo positivo y en la otra el negativo de una pila. Sobre el mercurio se coloca un tenue hilo metálico de

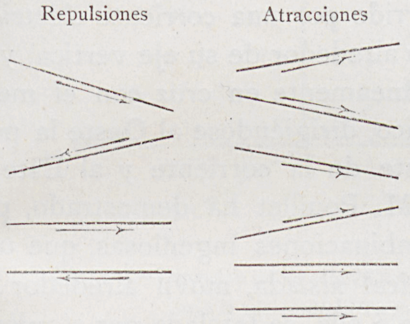


Fig. 169.—Ley de las atracciones y repulsiones de una corriente por otra

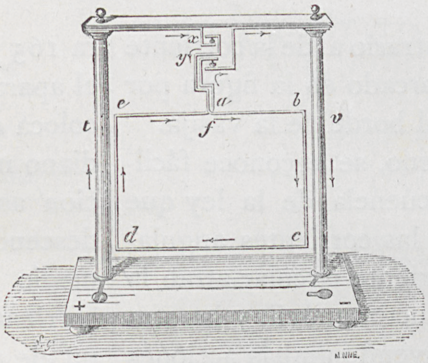


Fig. 170.—Atraccion de las corrientes paralelas del mismo sentido

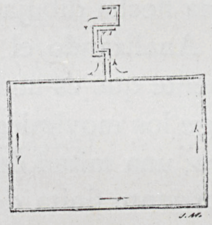


Fig. 171. — Repulsion de las corrientes paralelas de sentido contrario

dos brazos paralelos unidos entre sí por una parte del mismo curva, poniendo así en comunicacion el mercurio de cada division de la cubeta. Este hilo cierra el circuito, como lo indican las flechas de la figura. En seguida que pasa la corriente, el conductor se aleja de los puntos en que los reóforos penetran en el mercurio.

Véase tambien cómo se demuestra que las corrientes sinuosas actúan del mismo modo que las corrientes rectilíneas en proyeccion. Se doblan una contra otra las dos porciones de un hilo atravesado por una corriente; una de estas porciones es rectilínea y la otra sinuosa como lo indica la fig. 173. Acércanse ambas á uno de los lados del circuito móvil de Ampere, y como no se observa ningun movimiento de atraccion ni de repulsion, debe deducirse que la corriente rectilínea equilibra exactamente la accion de la sinuosa, cuyo sentido es opuesto al de aquella. Hay pues equivalencia entre ambas acciones, quedando demostrado que la forma y longitud de la porcion sinuosa de la corriente no han influido para nada en su accion.

Citaremos por último un ejemplo de movimiento de rotacion continuo determinado por la accion de una corriente sobre otra.

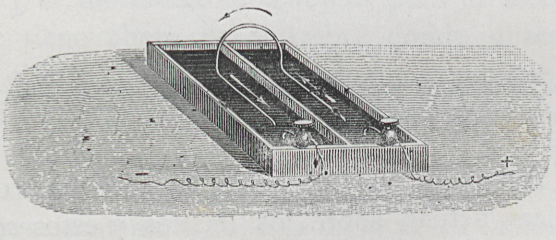


Fig. 172.—Repulsion de las partes consecutivas de una misma corriente

El aparato que sirve para ello está construido (fig. 174) como el que sirvió á Faraday para la rotacion de una corriente por un iman. El circuito de cobre B C, giratorio alrededor del remate de la columna A, tiene sus dos brazos verticales soldados á un anillo de cobre que

penetra en el agua acidulada de una vasija E F. Alrededor de esta y en su parte exterior va enrollado el hilo de una bobina, uno de cuyos extremos recibe en *o* la corriente de una pila; el otro extremo está sujeto á las bornas *m n* y en comunicacion con la columna del circuito móvil. La corriente recorre los diferentes puntos de este circuito en la direccion marcada por las flechas; entra en el agua acidulada de la vasija y sale de ella por *p*. Tan luégo como las comunicaciones establecidas han cerrado el circuito y dado paso á la corriente, el circuito

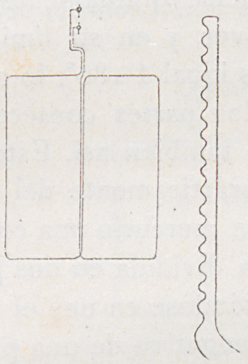


Fig. 173.—Accion de las corrientes sinuosas

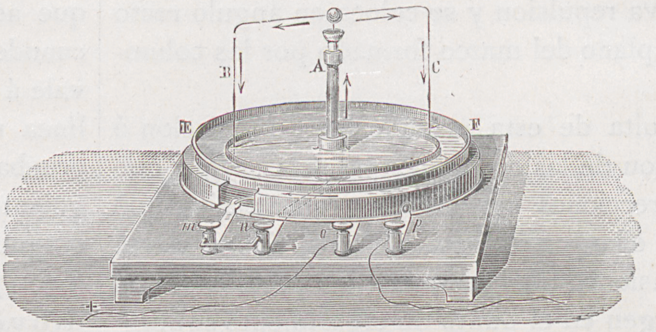


Fig. 174.—Rotacion de una corriente finita por efecto de una corriente circular

móvil gira en sentido contrario al de la corriente de la bobina, sentido marcado en la figura por una flecha dibujada en el borde de la vasija.

Analizando el fenómeno, se reconoce fácilmente que es una consecuencia de la ley que rige los movimientos de las corrientes angulares; una mitad de la corriente circular atrae la corriente finita del conductor móvil, y la otra mitad la repele; contribuyendo ambas acciones á hacerle efectuar su rotacion en sentido contrario al de la corriente circular. Si se hace el experimento de modo que la corriente de la pila recorra la bobina en el mismo sentido, pero llegando por el agua acidulada al circuito móvil y bajando, en vez de subir, por la columna central, el movimiento de rotacion es inverso del precedente, como se podia prever.

V

ACCION DE LA TIERRA SOBRE LAS CORRIENTES.—TEORIA DEL MAGNETISMO DE AMPÈRE

Así pues, por una parte, las corrientes eléctricas actúan sobre los imanes y estos sobre aquellas; y por otra, las corrientes actúan unas sobre otras. De esto á asimilar los imanes á las corrientes no habia más que un paso, y Ampère lo dió, aunque apelando á la práctica en comprobacion de la teoría. Este físico descubrió que la Tierra misma ejerce cierta accion sobre las corrientes; que si se abandona á sí mismo un circuito rectangular parecido al de la figura 165 y recorrido por una corriente eléctrica, el aparato gira alrededor de su eje vertical y se coloca espontáneamente en cruz con el meridiano magnético, dirigiéndose al Oeste la porcion ascendente de la corriente y al Este la descendente. M. Pouillet ha demostrado, por medio de combinaciones ingeniosas, que una corriente vertical aislada, móvil alrededor de un eje paralelo á ella, se traslada por sí misma del Oeste al Este magnético, segun que sea ascendente ó descendente, al paso que la accion de la Tierra sobre los brazos horizontales del

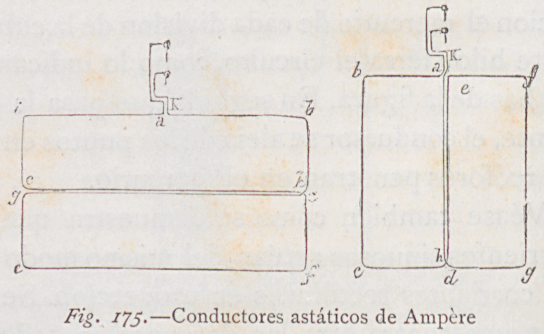


Fig. 175.—Conductores astáticos de Ampère

aparato de Ampère es nula. Basándose en estos hechos, ha construido Ampère aparatos astáticos, es decir, indiferentes á la accion del globo terráqueo. Basta para esto doblar los brazos de los conductores de modo que la accion sobre un brazo igual y paralelo, atravesado en opuesto sentido por la corriente, neutralice la accion magnética terrestre sobre cualquiera de dichos conductores. La fig. 175 representa dos modelos de estos conductores astáticos. Dirigiendo

entónces sobre ellos una corriente fija, colocada horizontalmente en direccion perpendicular al meridiano magnético, de Este á Oeste, vió que la accion de esta corriente era precisamente la misma que la de la Tierra, de lo cual dedujo que la accion magnética de ésta sobre la aguja imantada proviene de las corrientes eléctricas que circulan sin cesar, bajo el horizonte, perpendicularmente al meridiano magnético y en direccion de Este á Oeste. Cualquiera que sea el número de estas corrientes, se las puede considerar como si compusieran una sola, y la experiencia demuestra que, en nuestras latitudes, su posicion está al Sur.

Prosiguiendo Ampère estas generalizaciones, ha hecho ver que se puede asimilar un iman á un conjunto de corrientes circulares, verticales, paralelas entre sí y del mismo sentido. En efecto, la experiencia nos demuestra que estando suspendido libremente este conjunto de modo que pueda girar en un plano horizontal, sometido á la accion de la Tierra, se sitúa por sí

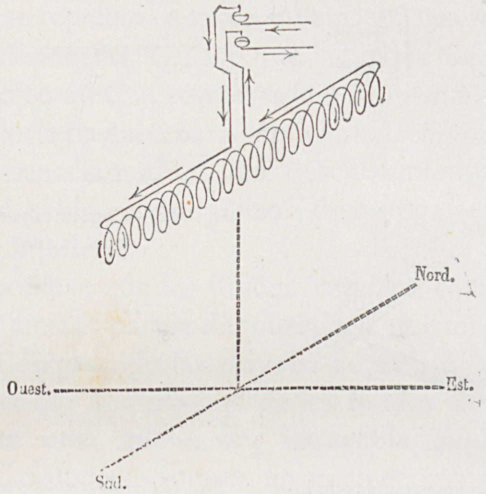


Fig. 176.—Direccion de un solenoide en el meridiano, bajo la accion de la Tierra

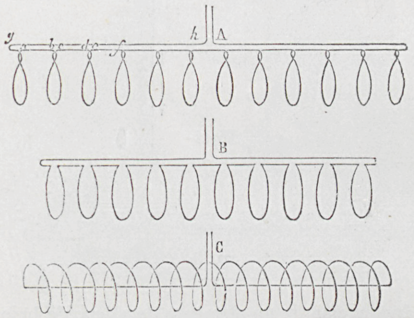


Fig. 177.—Solenoides de varias formas

mismo en el meridiano magnético, obrando lo mismo que una aguja imantada. Véase como realizó Ampère lo que puede llamarse *hélice* ó *iman eléctrico.*

Cogió un alambre, y enrollándolo en un cilindro en espiras equidistantes, le dió la forma representada en la fig. 176, pasando luégo las dos extremidades del alambre longitudinalmente por encima de las espiras y doblándolas despues de modo que todo ello pudiese girar libremente alrededor de un eje vertical. Hecho esto, empalmó las dos puntas del alambre á los reóforos de una pila. Cuando la corriente pasa en la direccion marcada por las flechas, el *solenoide*—tal es el nombre que Ampére dió al aparato (1)—se coloca en una posicion de equilibrio estable; cada espira se halla en un plano vertical en direccion del Este al Oeste magnético y el eje del solenoide coincide entónces con el meridiano magnético, como lo haria una aguja imantada. Si se cambia la direccion de la corriente, el solenoide cambia tambien de posicion; y despues de girar 180°, vuelve á ocupar la primitiva: su eje longitudinal está siempre en el meridiano magnético, pero el solenoide tiene ahora un extremo donde ántes tenia el otro. Por último, un elemento de solenoide (fig. 178), suspendido de modo que pueda girar libremente alrededor de un eje perpendicular al meridiano magnético, toma una inclinacion precisamente igual á la de la aguja imantada.

Así pues, los imanes ordinarios y los solenoides, ó imanes eléctricos, actúan del mismo modo bajo la influencia de la accion magnética de la Tierra. Pero se ha llevado más allá la analogía. Ampère ha demostrado que los extremos ó polos de dos solenoides ejercen unos sobre otros atracciones y repulsiones de la misma naturaleza

(1) En términos generales, se da el nombre de *solenoide* á todo sistema de corrientes circulares, iguales entre sí y del mismo sentido, dispuestas de modo que el eje que pasa por los centros de todos los círculos sea perpendicular ó normal al plano de cada una de ellas. Obtiénese este resultado de varios modos, y la figura 177 representa algunos.

que las de los polos de los imanes; los del mismo nombre de los solenoides se repelen; los de nombre contrario se atraen. Finalmente, obsérvanse las mismas acciones si se acerca el polo de un solenoide á cualquiera de los de un iman (fig. 179). La asimilacion es completa y Ampère ha podido formular en todo su rigor su teoría del magnetismo, teoría que equipara los fenómenos magnéticos á los de la electricidad dinámica. Hé aquí un sucinto resúmen de esta teoría:

El globo terráqueo está surcado continuamente de una multitud de corrientes eléctricas, engendradas por las acciones químicas que se desarrollan en su seno. Todas estas corrientes de sentido é intensidad probablemente distintos y variables, producen en los imanes el mismo efecto que una sola corriente, resultante de

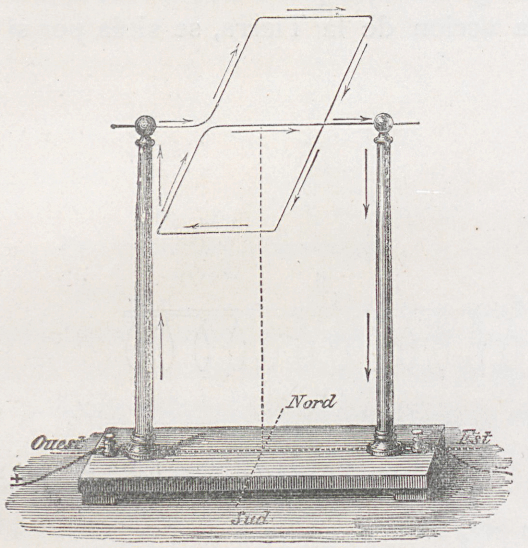


Fig. 178.—Inclinacion de un elemento de solenoide bajo la influencia de la accion magnética terrestre

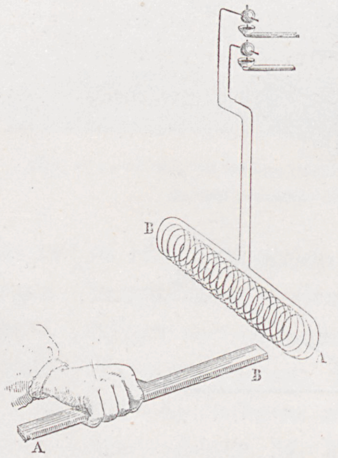


Fig. 179.—Acciones mutuas de los imanes y de los solenoides

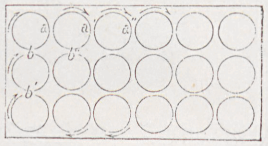


Fig. 180.—Corrientes particulares de los imanes

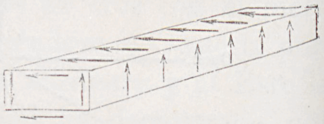


Fig. 181.—Corrientes resultantes en la superficie de un iman

la composicion de las corrientes elementales y que circula de Este á Oeste en sentido contrario al del movimiento de rotacion de la Tierra. Toda sustancia magnética, como hierro, acero, etcétera, es tambien asiento de corrientes eléctricas elementales que circulan alrededor de ciertos grupos de átomos. En el hierro dulce, y en los cuerpos magnéticos que no están dotados de magnetismo polar, estas corrientes están orientadas en todos sentidos, de suerte que el efecto resultante es nulo. En los imanes, por el contrario, todas las corrientes particulares tieten la misma orientacion; por ejemplo, circulan como lo indican las flechas de la fig. 180, en la que se ve representada una seccion trasversal de una barra imantada. En las posiciones contiguas, en *b*, *b'*, *a*, *a'*, etc., las corrientes son de sentido contrario; de suerte que el efecto total se reduce al efecto exterior, lo que equivale á considerar el contorno de cada filo como si estuviese recorrido por una sola corriente. Lo propio sucederá en todas las secciones, y el iman quedará constituido como lo indica la fig. 181.

Vése, pues, segun la teoría de Ampère, que se puede considerar todo iman como equivalente á un solenoide, ó mejor dicho como si fuese un conjunto, un haz de solenoides ó hélices formadas por corrientes particulares que circulan por planos casi perpendiculares á la línea de los polos.

En cuanto á las sustancias magnéticas, como el hierro dulce, la proximidad de un iman les hace adquirir momentáneamente el magnetismo polar, por la accion que las corrientes del solenoide ejercen en las que emanan de ellas mismas. Esta influencia modifica la accion de dichas corrientes elementales, haciendo que su resultante no sea ya nula; así se concibe la imantacion por influencia. En el artículo siguiente veremos que la teoría de Ampère explica tambien perfectamente la imantacion permanente; pero aquí es la experiencia la que debe aleccionarnos, revelándonos fenómenos del mayor interés. Antes de tratar de este último asunto, insistamos un tanto en la profunda modificacion introducida por tan hermosa teoría en las mi-

ras hipotéticas que hacian del magnetismo una ciencia aislada, á pesar de la analogía evidente de sus leyes con las de la electricidad. De hoy más está probado que el principio de los fenómenos magnéticos es la misma electricidad, quedando fijada ya la unidad en estas dos clases tan importantes de fenómenos.

«Antes del gran descubrimiento del iman eléctrico, dice M. Quet, admitíase la existencia de un flúido austral y de otro boreal para explicar los fenómenos del magnetismo, y se suponia que las partículas homólogas de estos flúidos se repelian en razon inversa del cuadrado de las distancias, al paso que las partículas diferentes se atraian con arreglo á la misma ley. Esta teoría bastaba para explicar los fenómenos que se conocian ántes del descubrimiento de Œrsted, si bien con condicion de agregarle dos nuevas hipótesis.

»Suponíase que los flúidos estaban confinados en ciertas partes del cuerpo, y que un obstáculo desconocido las privaba de salir de ellas para circular á la manera de los flúidos eléctricos. De otro modo, era imposible explicar porqué, cuando se rompia un iman en menudos fragmentos, cada partícula era á su vez un iman con su polo austral y boreal.

»Asimismo era preciso suponer que, en volúmenes iguales de hierro y niquel, no se podian separar los dos flúidos en un mismo número de partes correspondientes, y en efecto se requeria que no tuvieran el mismo poder magnético, como lo indica la experiencia.

»Cuando Œrsted descubrió que la corriente eléctrica actuaba sobre el iman, la teoría con sus dos hipótesis fué ya insuficiente para explicar esta nueva accion y hubo que considerar el hecho como un caso primitivo.

»Pero todas las perplejidades desaparecian con la teoría de Ampère. Las corrientes eléctricas residen necesariamente en las partículas, y por consiguiente cada partícula de iman es un iman completo. La accion de las corrientes particulares debe variar naturalmente de un cuerpo á otro, puesto que depende á la vez de la fuerza electromotriz y de las dimensiones de las partículas; así pues, la diferencia del hierro y del niquel es simple consecuencia de la teoría. Por último, la accion del iman sobre las corrientes eléctricas es en esta teoría un fenómeno electro-dinámico que se puede calcular y prever, y no un hecho primitivo.

»La oportuna teoría de Ampére debia, pues, eliminar de la ciencia la antigua hipótesis con su complicacion de los dos flúidos inútiles, de dos suposiciones forjadas para apoyarla, y de un hecho primitivo que era forzoso aceptar. Con ella todo se coordina, todo aparece suma-



A. M. Ampère

mente claro, todo concuerda con el hecho fundamental de la accion de unas corrientes sobre otras, y en fin, queda descorrido el velo que ocultaba el magnetismo.»

VI

IMANTACION POR LAS CORRIENTES

Arago hizo en 1820, al poco tiempo de los descubrimientos de Œrsted y de Ampère, el experimento siguiente: metió en un monton de limaduras de hierro un alambre de cobre, cuyos extremos estaban empalmados á los dos polos de una pila, y al sacar el hilo sin interrumpir la corriente, lo vió cubierto en toda su superficie de partículas de limaduras, puestas trasversalmente; tan luégo como se rompia el circuito, las partículas se desprendian del cobre y caian. Para cerciorarse de que se daba el caso de una imantacion transitoria, y no de la atraccion de

cuerpos leves por uno electrizado, sustituyó las limaduras de hierro con una sustancia no magnética, y ya no se presentó el fenómeno. Poniendo agujas de hierro dulce, y luégo acero templado muy cerca del alambre de cobre y en cruz con él, vió que la accion de la corriente las trasformaba en agujas imantadas, con su polo austral siempre á la izquierda de ésta, resultado conforme con los recientes experimentos de Œrsted.

Arago y Ampère reconocieron en breve que la imantacion del hierro dulce ó del acero, se desarrolla con mucha mayor energía poniendo la aguja dentro de una hélice eléctrica: enrollaban el hilo reóforo de una pila alrededor de un tubo de vidrio y poniendo en seguida en el eje de éste la aguja que se proponian imantar, hacian pasar la corriente. Al punto ocurria la imantacion; pero, segun era de esperar, esta imantacion era transitoria en el hierro dulce y permanente en el acero.

En la figura 182 se ve que hay dos modos de enrollar el hilo en el tubo. Suponiendo á éste vertical, se puede enrollar el hilo de arriba abajo y cada espira de derecha á izquierda en la cara del tubo vuelta hácia el operador; tal es la hélice ó solenoide *dextrorsum b a*; ó bien se puede practicar esta operacion del mismo modo, pero llevando el hilo de izquierda á derecha, con la cual se tendrá la hélice ó solenoide

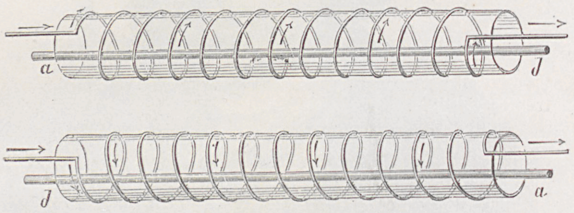


Fig. 182.—Imantacion de una aguja de acero por un solenoide: hélice dextrorsum y sinistrorsum

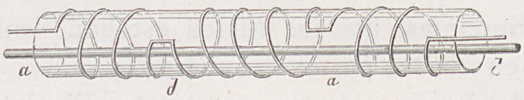


Fig. 183.—Imantacion por una hélice: produccion de los puntos consecuentes

sinistrorsum a b. Si la corriente atraviesa las espiras de las hélices de arriba abajo, como lo indican las flechas, la imantacion dará á la aguja su polo austral abajo en la hélice dextrorsum, es decir, del lado por donde sale la corriente; en caso contrario, dicho polo estará arriba en la aguja de la hélice sinistrorsum, ó del lado por donde entra la corriente. En ambos casos, el polo austral se hallará siempre situado á la izquierda de la corriente, con arreglo á la ley de Ampère.

Por este medio de imantacion, tan sencillo como maravilloso, se pueden producir á beneplácito polos secundarios en las barras que se quiere imantar, á lo cual se da, segun hemos dicho, el nombre de *puntos consecuentes*. Basta para ello, segun lo demostró Arago por vez primera, enrollar el hilo en un sentido alrededor del tubo y volverlo á enrollar en el contrario enfrente de cada uno de los puntos en que debe haber un polo secundario, resultando formada la hélice total de una hélice sinistrorsum seguida de otra dextrorsum, y así sucesivamente (fig. 183).

En otro tiempo se efectuaba la imantacion de las barras de acero por varios procedimientos que hemos descrito en el Libro del MAGNETISMO; pero hoy se prefiere apelar á las corrientes eléctricas que circulan por una hélice. Rodéase la barra que se ha de imantar de una bobina por la cual se hace pasar la corriente, y miéntras tanto se va corriendo la bobina de un extremo á otro de la barra; al poco tiempo el acero ha adquirido su máximum de imantacion.

Anteriormente indicamos algo acerca de los medios de que se valian MM. Elías de Harlem y Logemann para hacer imanes de gran potencia. A la siguiente descripcion, que tomamos de Gordon, debemos añadir que el acero empleado por los inventores es un acero particular y sumamente templado. Este procedimiento consiste en pasar y repasar por la barra que se quiere imantar una bobina de alambre de cobre por la cual circula una corriente eléctrica. Cuando se opera con una barra en forma de herradura, se pone una bobina sobre cada brazo, se hace pasar la corriente por las dos bobinas, y se las hace ir y venir juntas por los dos brazos de la herradura. Se puede lograr la imantacion máxima con un solo par de Grove y de Bunsen, pero es menester que este par, así como las bobinas, tengan muy poca

resistencia. Elías se valia de un par de Grove cuya resistencia era igual á la de un hilo de cobre de 1 milímetro de diámetro y 0^{m},66 de longitud. Su bobina estaba formada por un hilo de 3 milímetros de diámetro y de 7 á 8 metros de longitud. Este procedimiento ofrece gran analogía con el del doble contacto.»

La construccion de imanes permanentes ha adquirido gran importancia desde la invencion de las máquinas magneto-eléctricas y su aplicacion á la luz eléctrica y á la galvanoplastia. M. Meritens, inventor de uno de estos aparatos que en breve describiremos, imanta rápidamente á saturacion los 40 haces de imanes per-

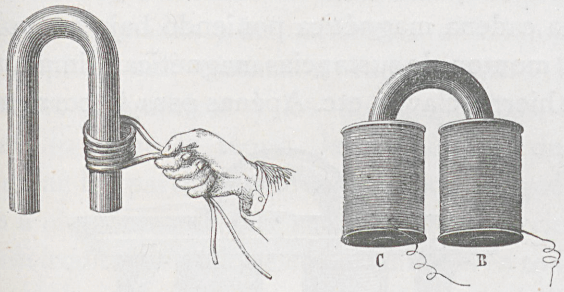


Fig. 184.—Procedimiento de imantacion permanente por las hélices

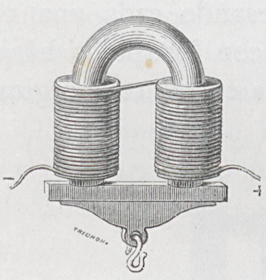


Fig. 185.—Electro-iman de herradura

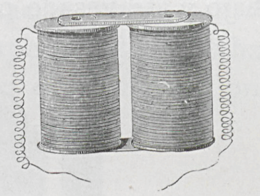


Fig. 186.—Electro-iman de núcleos paralelos

manentes que componen una de sus máquinas. Pone dos imanes á la vez con sus polos frente á frente, separados por una tenue hoja de cobre contra la cual están aplicados. Unas bobinas excitadoras ó magnetizantes rodean cada haz, y para animarlas, envia al hilo la corriente de una máquina Gramme, dejándola obrar por espacio de veinte segundos é interrumpiéndola otros veinte. «A cada paso de la corriente prodúcese un fuerte movimiento molecular, y la imantacion es tal, que si se deja funcionar el aparato más de veinte minutos, se calientan los polos de los imanes.» M. Meritens llega á imantar á saturacion sus cuarenta imanes en ménos de un dia y con un solo hombre.

Esto por lo que hace al método de imantacion permanente.

Hemos visto ya que el hierro dulce rodeado de una hélice magnetizante adquiere una imantacion transitoria. La fuerza magnética desarrollada de este modo es tanto más poderosa cuanto más homogéneo y puro es el hierro y mayor el número de espiras de la hélice. Para realizar fácilmente esta última condicion, se cubre el hilo metálico con una envolvente aisladora, por ejemplo de seda ó de algodon como en el multiplicador de Schweigger. Se la enrolla en el pedazo de hierro dulce, juntando las vueltas tanto como se quiera para hacer un gran número de espiras. Entónces resulta lo que se llama un *electro-iman*, es decir, un iman cuyo poder magnético subsiste miéntras dura el paso de la corriente de la pila, y cesa tan luégo como esta corriente se interrumpe (1).

Por lo general se da á los electro-imanes la forma de un cilindro doblado á modo de herradura, cada uno de cuyos brazos está cubierto por una porcion del alambre. Las hélices parecen enrolladas en él en sentido opuesto, pero este sentido ó direccion es en realidad el mismo en los dos brazos suponiendo el hierro dulce enderezado. Por consiguiente, al pasar la corriente resultan en sus extremos dos polos de nombre contrario.

Tambien se hacen electro-imanes con dos cilindros de hierro dulce paralelos, reunidos de un lado por una plaquita de hierro, y del otro por una de cobre (fig. 186). Pero se dan asimismo las formas más variadas á estos aparatos, segun el uso á que se los destine; así es que se los hace cilíndricos, cuadrados, planos, elipsoidales, variándose tambien las hechuras de sus armaduras.

El electro-iman que M. Pouillet ha mandado construir para la facultad de ciencias de Paris puede sostener una carga de muchos millares

(1) La intensidad del magnetismo que se puede comunicar de este modo á una barra de hierro dulce no tan sólo depende de la intensidad de la corriente sino tambien del número de vueltas ó espiras del hilo que la rodea, de la longitud y del diámetro del hilo. Segun M. Weber, tratándose de escasas intensidades, hay casi proporcionalidad entre la magnética y la de la corriente; pero cuando esta crece, la primera tiende hácia un límite determinado. «La existencia de un límite de imantacion, dice M. Verdet, es una consecuencia evidente de la teoría de Ampère; cuando todos los elementos magnéticos de una barra están orientados paralelamente á su eje, sus acciones son concordantes, y la imantacion no puede aumentar ya.»

de kilógramos. Un electro-iman perteneciente á M. Gordon, autor del *Tratado de electricidad y de magnetismo* que tantas veces hemos citado, está formado de una herradura cuyos brazos tienen 33 centímetros de longitud y 635 milímetros de diámetro; las hélices 30'5 centímetros de longitud y 12'7 de diámetro exterior con más de 1,000 vueltas de hilo de cobre de 1^{mm},25 de diámetro, pesando cada una 15 kilógramos. «Este iman, con los polos hácia abajo y atravesado por una corriente enérgica, sustentaria probablemente un peso de 1 á 3 toneladas sujeto á su armadura.» Pronto veremos la accion magnética que tan poderosos aparatos ejercen sobre sustancias que hasta ahora parecia haber resistido á su influencia. Aparte de las muchas aplicaciones que se les da y que luégo describiremos, se puede hacer con los electroimanes experimentos curiosísimos, como formar una cadena magnética poniendo bajo los polos un monton de sustancias magnéticas, limaduras de hierro, clavos, etc. Apénas pasa la corriente,

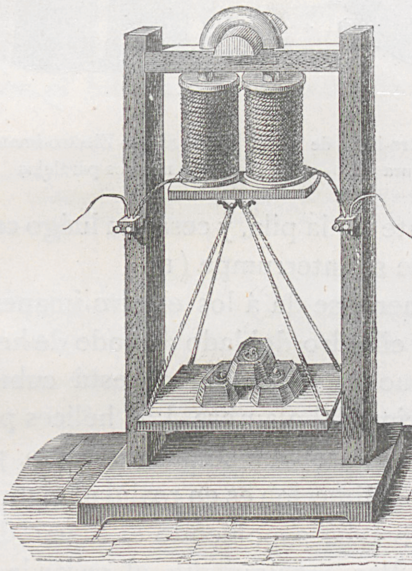


Fig. 187.—Electro-iman con su carga

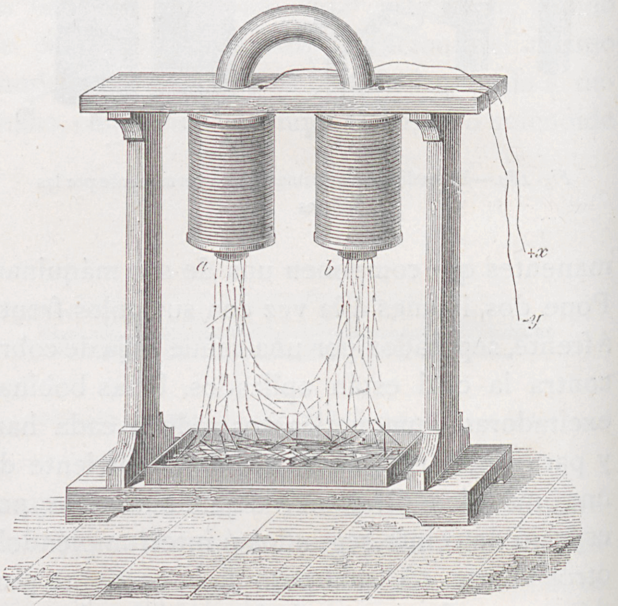


Fig. 188.—Cadena magnética

los polos atraen los cuerpos pequeños que se imantan por influencia y se entrelazan como se ve en la fig. 188. Al romperse el circuito, la cadena se rompe tambien, y todos los fragmentos caen á la vez.

La prontitud con que el hierro dulce se imanta por la influencia de la electricidad y pierde esta imantacion no bien cesa la corriente, ha originado muchas é importantes aplicaciones del electro-iman. En otra parte veremos que se ha utilizado esta propiedad para construir máquinas motoras, aunque poco poderosas, preciosas en realidad para los trabajos que requieren regularidad y precision. Pero en la telegrafía eléctrica es donde el electro-iman desempeña un papel más importante, á propósito para demostrar cuán de cerca tocan las especulaciones de la más elevada teoría á las aplicaciones prácticas de la más trascendental utilidad social. En otros capítulos tributaremos el debido homenaje á los inventores de los sistemas que han permitido realizar este medio instantáneo de comunicacion del pensamiento; ahora debemos continuar ofreciendo á la gratitud del mundo civilizado los nombres de Volta, Ampère y Arago, porque á tan ilustres hombres somos deudores del descubrimiento de los principios que son la base de tan maravillosa invencion.

VII

DIAMAGNETISMO

Al describir los fenómenos generales del magnetismo, hemos visto que un corto número de sustancias, como el hierro, el niquel y el cobalto, gozan de la propiedad de ser atraidos por el iman; varias de estas sustancias, á las que se da el nombre de *magnéticas*, pueden además adquirir de un modo permanente el magnetismo polar, es decir, convertirse á su vez en imanes. En la teoría de los dos flúidos,

la existencia de estas sustancias, privilegiadas en cierto modo, y la carencia de dicha propiedad por parte de todos los demás cuerpos, eran otras tantas hipótesis enlazadas con la que constituia dicha teoría. Pero desde que se ha atribuido el magnetismo y la electricidad á la misma causa, como lo prueban claramente los numerosos fenómenos de influencia recíproca entre los imanes y las corrientes, difícilmente se explica una distincion radical entre los cuerpos magnéticos y los no magnéticos. Si, como lo exige la teoría de Ampère, se debe asimilar las partículas de los cuerpos magnéticos á elementos de pila voltaica cuyas corrientes ó circuitos cerrados están orientados en todos sentidos, si la accion de un iman ó de una hélice magnetizante consiste precisamente en dirigir ú orientar esas corrientes particulares, de donde resultan las atracciones comprobadas por la experiencia, podemos preguntarnos porqué hay tantos cuerpos desprovistos de esta propiedad. Y en efecto, más de una vez se ha planteado esta cuestion, y el resultado de las investigaciones hechas bajo este punto de vista ha sido precisamente el descubrimiento de la generalizacion de la accion de los imanes; mas para esto ha sido preciso que los físicos pudieran disponer de imanes de gran potencia, como los electro-imanes que acabamos de describir.

En el pasado siglo y en la primera mitad del presente no dejaron de practicarse estudios que indujeron á creer en la accion de los imanes sobre varias sustancias tenidas hasta entónces por no magnéticas; Coulomb habia hecho oscilar en su balanza finísimas agujas de oro, plata, vidrio, cera, etc.; pero sus propios experimentos y los de Biot le hicieron reconocer que la accion del iman podia atribuirse en tales circunstancias á partículas de hierro tan pequeñas que el análisis química no revelaba su presencia. Sin embargo, Lebaillif puso en 1828 fuera de duda un hecho capital, vislumbrado ya por Brugmans, y es que el bismuto (al cual agregó este último el antimonio) ejerce repulsion sobre la aguja imantada. La presencia del hierro ó de cualquier otra sustancia magnética en ambos metales era insuficiente para explicar semejante anomalía.

A Faraday le cabe el honor de haber demostrado que la propiedad magnética es general, ó por lo menos que casi todos los cuerpos sólidos, líquidos ó gaseosos, experimentan la influencia del iman. Sólo que la accion es atractiva para unos y repulsiva para otros, de suerte que los cuerpos se dividen en dos clases distintas, comprendiendo la primera las sustancias que, como el hierro dulce, son atraidas por los polos de un iman, y la segunda las que, como el bismuto, son repelidas. Faraday llama á las primeras *paramagnéticas* ó simplemente magnéticas; las otras son las sustancias *diamagnéticas*.

Ocupémonos de los experimentos que han servido para hacer patentes estas nuevas propiedades.

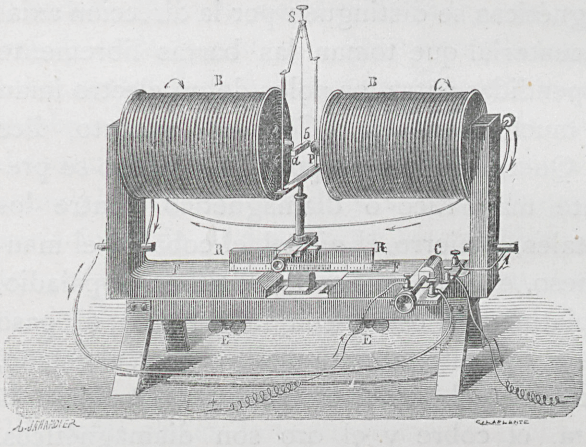


Fig. 189.—Aparato Ruhmkorff para el estudio del diamagnetismo

Ruhmkorff ha construido para estudiar el magnetismo un electro-iman de gran potencia, tal como lo muestra la fig. 189. Las dos bobinas B, B tienen sus núcleos enlazados por una doble escuadra de hierro dulce, cuyos brazos pueden correr horizontalmente, con lo cual se pueden poner los polos á la distancia oportuna: unas tuercas E E los mantienen en la posicion que se les da. Los ejes y los polos de las bobinas, es decir, los polos opuestos del electroiman se hallan en una misma línea horizontal y uno enfrente de otro. Las armaduras P tienen la forma de masas redondeadas ó de conos algo truncados y á veces tambien de superficies planas y horizontales que se atornillan á los extremos de los núcleos de las bobinas.

Para estudiar un cuerpo sólido se le corta en forma de barra alongada *ab*, que se suspende horizontalmente mediante un soporte S sobre la parte media de la línea que une los dos polos. Entónces se hace pasar la corriente. Si el cuerpo que se estudia es magnético, gira alrededor de su punto de suspension hasta que su

eje coincide exactamente con la línea de los polos del electro-iman; si se suprime la torsion del hilo, persiste en esta posicion *axial*. Si, por el contrario, dicho cuerpo es diamagnético, la barra se dirige perpendicular á la línea de los polos y toma la posicion que Faraday llama *ecuatorial*. En el primer caso, y á causa de la influencia del electro-iman, la barra se convierte en un iman temporal, con dos polos atraidos por los dos polos opuestos de las armaduras; en el segundo caso, siendo la barra diamagnética, es repelida por ambos polos del electro-iman.

Así pues, las dos clases de sustancias paramagnéticas se distinguen por la direccion axial ó ecuatorial que toman las barras libremente suspendidas entre los polos de un electro-iman de mucha potencia. «Con este aparato, dice M. Quet, no hay cuerpo sólido que no se presente magnético ó diamagnético. Entre los metales, el hierro, el niquel, el cobalto, el manganeso, el cromo, el cerio, el titano, el paladio, el platino y el osmio son magnéticos; al paso que el bismuto, el antimonio, el zinc, el estaño, el cadmio, el sodio, el mercurio, el plomo, la plata, el cobre y el oro son diamagnéticos. Es de notar que el crown-glass es magnético y el flint-glass diamagnético; que la mayoría de las sustancias orgánicas son diamagnéticas, y por último, que el bermellon, el minio, el peróxido de plomo, el asbesto, el papel, etc., son magnéticos, y que los cristales de los cianuros amarillo y rojo de hierro y de potasio son diamagnéticos.»

Esto en cuanto á los sólidos. Los líquidos están asimismo sujetos á la influencia del electro-iman y se dividen tambien en dos clases, segun que son atraidos ó repelidos. Para reconocer estas propiedades, Faraday introducia los líquidos en un tubito de vidrio muy delgado, suspendiéndolo horizontalmente entre los polos, y el cual tomaba la direccion axial ó ecuatorial segun que el líquido era magnético ó diamagnético. M. Plucker ponia el líquido en un cristal de reloj colocado sobre las piezas polares moldeadas al efecto; el líquido se prolongaba en la direccion axial ó del eje y se ahuecaba en el medio, si era magnético, y adquiria cierta convexidad en direccion del ecuador, si era diamagnético. M. Quet se ha valido para el mismo estudio de un tubo de vidrio horizontal puesto entre los dos brazos del electro-iman, en direccion perpendicular á la línea de los polos. «Se pone, dice, una gota de líquido en el tubo, y su parte media á la derecha ó á la izquierda de la misma línea. Cuando pasa la corriente por el electro-iman, la gota es repelida al tubo, siendo esta repulsion permanente cuando el líquido es magnético; por el contrario, si es diamagnético, experimentará atraccion y su parte media se colocará en la línea de los polos. Se ha reconocido por varios métodos que el agua, el alcohol, el éter y la mayor parte de los líquidos orgánicos son diamagnéticos. Ningun cuerpo sólido ó líquido permanece inmóvil cuando el electro-iman es bastante enérgico, como no sean las mezclas, en proporciones convenientes, de los líquidos magnéticos con los diamagnéticos.» La sangre es diamagnética, por mas que contenga hierro.

Los gases están sujetos tambien á la influencia de los imanes. La llama y el humo de una lámpara, los vapores de agua y de alcohol puestos entre los polos del electro-iman, sufren una accion repulsiva. M. Quet ha comprobado la accion repulsiva del iman en el arco voltaico, preparando el experimento como se ve en la fig. 190. Los electrodos de carbon entre los cuales brotaba la luz del arco estaban situados entre los extremos A y B de los conos polares del electro-iman. Apénas pasaba la corriente por este, el arco se alargaba en direccion ecuatorial, tomando la forma de dardo que se nota en la llama de un soplete, siendo su longitud el décuplo de la del arco. Oíase un zumbido y luégo una fuerte detonacion cuando dicha longitud era tanta que rompia el arco. Más ade-

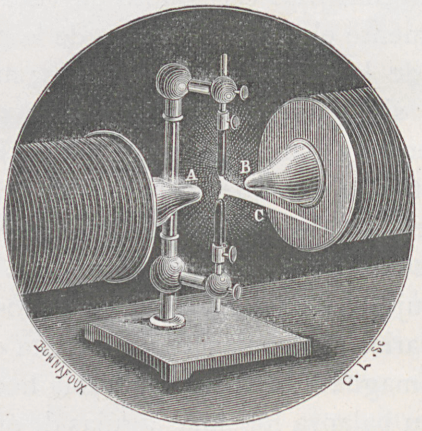


Fig. 190.—Repulsion del arco voltaico

lante veremos otros efectos interesantes de la accion magnética en las luces eléctricas de varias formas.

El poder paramagnético de los cuerpos varía considerablemente de una sustancia á otra. Faraday lo ha estudiado en los metales, habiendo deducido de sus experimentos la siguiente lista que comprende por una parte los metales magnéticos y por otra los diamagnéticos, clasificados por órden de poder decreciente á partir del hierro y del bismuto; los metales cuyo poder magnético ó diamagnético es más débil son los inmediatos al punto neutro ó o. Pero hay que tener en cuenta que el magnetismo del hierro es mucho más intenso que el del bismuto: la intensidad del polo de un electro-iman de núcleo de hierro, es, segun Gordon, de 32 á 45 veces la de la fuerza magnetizante, mientras que la de un núcleo de bismuto sólo es su 400,000.ª parte. Por consiguiente, el poder magnético del hierro debe de ser de 13 á 18 millones de veces tan grande como el diamagnético del bismuto.

LISTA DE LOS METALES

Magnéticos	Paramagnéticos
Hierro	Bismuto
Níquel	Antimonio
Cobalto	Zinc
Manganeso	Cadmio
Cromo	Sodio
Cerio	Mercurio
Titano	Plomo
Paladio	Plata
Platino	Cobre
Osmio	Oro
	Arsénico
	Uranio
	Rodio
	Iridio
	Tungsteno

0

Edmundo Becquerel ha comprobado que la atraccion ejercida por los polos de un electroiman sobre un centímetro cúbico de oxígeno á la presion normal viene á ser el quinto de la repulsion que experimenta un centímetro cúbico de agua en las mismas condiciones, siendo igual á 0,18 ó 0,17, segun que el agua esté al aire libre ó en el vacío. Si se consideran las cantidades de materia, vese que el poder magnético del oxígeno es 126 veces mayor que el diamagnético del agua. El magnetismo del oxígeno, que es el solo gas magnético conocido, se debilita con su densidad cuando subsistiendo la misma temperatura, la presion tiende á disminuir, debilitándose más aún cuando sube aquella. El aire es cinco veces más magnético que el oxígeno, de lo cual resulta que debe su magnetismo á este gas contenido en él.

La fuerza magnética del oxígeno hizo sospechar á Faraday que debe intervenir en los fenómenos de magnetismo terrestre. Es interesante conocer las ideas y las investigaciones del ilustre físico inglés acerca de este asunto. Hé aquí un breve resúmen de ellas, tomado de Tyndall. «El oxígeno, dice Faraday, no puede existir en la atmósfera y ejercer en ella tan notable cantidad de fuerza magnética, sin ejercer tambien una importantísima influencia en la disposicion magnética de la Tierra considerada como planeta; sobre todo si se recuerda que las variaciones de su densidad y los cambios de su temperatura modifican sobremanera su estado magnético. Creo ver aquí la causa real de las variaciones de dicha fuerza observadas y que se sigue observando con tanto cuidado en las diferentes partes de la superficie del globo. La variacion diurna y la anua deben depender verosímilmente de ella; sucediendo lo propio con un gran número de variaciones irregulares, continuas, que tan maravillosamente se patentizan con los procedimientos de inscripcion fotográfica. Si esta esperanza se confirma, si se averigua que la influencia de la atmósfera es capaz de producir semejantes resultados, encontraremos probablemente una nueva relacion entre las auroras boreales y el magnetismo terrestre, esto es, una relacion más ó ménos establecida al través del aire mismo con los espacios superiores. Añadamos que merced al desarrollo futuro de lo que me atrevo á llamar *magnetismo atmosférico*, podremos hacer ostensibles y mensurables ciertas relaciones y variaciones magnéticas que ni siquiera sospechamos hoy.»

Faraday dedicó al estudio de tan interesante cuestion dos Memorias en las cuales discute los efectos del calor y del frio en el magnetismo del aire, y la accion que debe resultar sobre la aguja imantada de los cambios de temperatura; dicho físico aplica los resultados de sus inda-

gaciones á la explicacion de las variaciones anuas, diurnas é irregulares, tal como las han comprobado las prolijas series de observaciones reunidas en los observatorios magnéticos. Posteriormente se han invocado otras causas, y en especial las cósmicas, como la periodicidad de las manchas del Sol; pero no creemos que sean necesariamente exclusivas de la causa aducida por Faraday, pues se puede suponer que el Sol ejerce ante todo su accion magnética en la atmósfera, y en el oxígeno que es una fraccion importante de ella.

VIII

ACCION DEL MAGNETISMO SOBRE LA LUZ POLARIZADA

Los primeros trabajos de Faraday sobre el diamagnetismo habian tenido por orígen un descubrimiento interesante, del que vamos á decir algunas palabras; nos referimos al poder del magnetismo sobre la luz polarizada. Hé aquí cómo describe aquel físico el experimento que le reveló esta propiedad. Con objeto de perfeccionar la fabricacion del vidrio empleado en óptica, habia llegado á producir un vidrio pesado y de gran poder refringente (silico-borato de plomo), del cual se sirvió del modo siguiente: «Coloqué un fragmento de esta especie de vidrio, dice, cuyas caras eran planas y tersas, y de unos 26 centímetros cuadrados de superficie por 13 milímetros de grueso, entre los polos de un electro-iman no excitado por la corriente eléctrica, de suerte que el rayo polarizado pudo atravesarlo en su longitud. El vidrio obraba entónces como el aire, el agua ó cualquier otra sustancia inactiva; si se ha vuelto préviamente el analizador de modo que produzca la extincion del rayo polarizado ó haga invisible la imágen dada por este rayo, la introduccion del vidrio no modifica en nada este estado de cosas. Pero si se excita la actividad del electro-iman, enviando la corriente eléctrica á las bobinas, la imágen de la lámpara de donde emana el rayo de luz *se hace al punto visible* y continúa siéndolo miéntras dura la accion magnética. Tan luégo como por la rotura del circuito, la fuerza magnética cesa de obrar, la luz desaparece. Estos fenómenos podian renovarse á beneplácito, en cualquier momento y circunstancia, demostrando así claramente la dependencia de causa á efecto.» (1)

Estos experimentos se hicieron extensivos á una porcion de cuerpos sólidos monorefringentes, todos los cuales adquieren el poder rotatorio bajo la influencia del magnetismo, siendo muy poco sensibles los cristales dotados de doble refraccion. De esta suerte se agregó un nuevo capítulo tanto á la óptica física como al magnetismo y á la electricidad.

Faraday y otros muchos físicos, entre los cuales mencionaremos á Verdet, han estudiado las leyes del movimiento rotatorio de la luz polarizada bajo la influencia de la accion de los imanes. Si las expusiéramos aquí, traspasaríamos los límites del plan que nos hemos propuesto, por lo cual remitimos al lector deseoso de conocerlas al estudio de las Memorias especiales. Limitémonos pues á decir que la direccion en que se ejerce la rotacion es, en muchas sustancias, la misma que la de las corrientes eléctricas del electro-iman; sin embargo, Verdet ha demostrado que esta direccion es de sentido contrario en los compuestos de hierro, titano, lantano, cerio, y unas veces directa y otras inversa, en los de manganeso. Cuando el rayo luminoso, que se supone que penetra siempre perpendicularmente en el prisma, es paralelo á la línea de los polos, el ángulo de rotacion es máximo; siendo tanto menor cuanto más se aparta esta direccion del paralelismo, para llegar á ser nulo en la direccion perpendicular. Esto supone que la intensidad magnética subsiste igual; si varia, el ángulo de rotacion varía proporcionalmente, en igualdad de circunstancias.

A nadie le pasará desapercibida la importancia de estos fenómenos. La teoría condujo á Faraday al brillante descubrimiento del poder magnético de los imanes sobre la luz. Por esto creemos deber terminar este artículo reproduciendo el fragmento siguiente de sus deducciones generales, á fin de precisar mejor todo su alcance.

«De este modo quedan establecidas por pri-

(1) En vez de emplear un electro-iman (que en este caso estaba excitado por cinco pares de Grove, y cada uno de cuyos polos sostenia hasta 26 kilógramos), Faraday repitió este mismo experimento con un buen iman permanente de acero de forma de herradura. Los resultados eran más débiles, pero suficientes para demostrar la identidad de accion de los imanes ordinarios y de los electros-imanes sobre la luz.

mera vez, segun creo, una relacion, una dependencia verdaderamente directas entre la luz y las fuerzas eléctricas y magnéticas; de este modo se agrega un hecho importante á los hechos y á las miras que tienden á demostrar la comunidad de orígen y el vínculo de todas la fuerzas naturales. Muy difícil es aún sin duda, dado el estado actual de la ciencia, decir con precision lo que esperamos. He aseverado que, en virtud de estos experimentos, una de las fuerzas de la naturaleza resulta directamente enlazada con otras fuerzas; quizás he debido decir que una de las formas del gran poder de la naturaleza resulta distinta y directamente enlazada con otras formas; ó que este poder, patentizado en fenómenos particulares con formas particulares tambien, revela una vez más su identidad y se da tambien á conocer por la relacion directa establecida entre su forma luz y sus formas electricidad y magnetismo.»

Dia llegará, y tal vez no esté lejano, en que lo que pueda parecer vago y oscuro en estas opiniones del ilustre físico, sea tan claro como lo es hoy la equivalencia de la fuerza mecánica y del calor, ó la trasformacion mutua de estas dos fuerzas.

CAPÍTULO IX

LA INDUCCION

I

FENÓMENOS DE INDUCCION POR LAS CORRIENTES

Tambien es el nombre de Faraday el que se presenta unido al orígen de los nuevos y notables fenómenos que se conocieron por vez primera hace más de cincuenta años, y que vamos á describir en este capítulo.

Faraday describió en el mes de noviembre de 1831 un hecho notable, y es que en el momento en que se introduce en un hilo metálico una corriente eléctrica, nace en un hilo inmediato, paralelo al primero y separado de él por un cuerpo aislador, otra corriente, pero de sentido contrario á la primera. La desviacion espontánea de la aguja de un galvanómetro con el cual comunica este hilo hace ostensible la existencia de la corriente desarrollada por influencia ó induccion. Verdad es que la nueva corriente cesa al punto, aunque la primera continúe circulando por el hilo principal; pero si se rompe este, nace otra corriente instantánea en sentido inverso en el hilo paralelo, para cesar tambien inmediatamente. Dase á la corriente primitiva el nombre de *corriente inductora;* á la producida cuando esta empieza, el de *corriente inducida inversa*, y á la que se desarrolla al romperse la corriente inductora, el de *corriente inducida directa* (1).

Los imanes engendran corrientes de induccion, lo propio que las corrientes voltaicas; sucediendo lo mismo, segun lo demostró Mar-

(1) Es interesante saber cómo describió Faraday la induccion, que ya habian hecho presuponer los experimentos de Ampère, hechos diez años ántes. Hé aquí cómo refiere Tyndall tan importantísimo hecho:

«Faraday dió principio á sus experimentos sobre la induccion de las corrientes eléctricas haciendo una hélice con dos hilos aislados, los cuales enrolló paralelamente uno sobre otro en un mismo cilindro de madera. En seguida empalmó los extremos de uno de dichos hilos á los dos polos de una pila de diez elementos, y los extremos del otro á un galvanómetro muy sensible. Cuando quedó establecida la comunicacion con la pila y circuló la corriente, no se notó efecto alguno en el galvanómetro; pero Faraday no se daba por satisfecho con un resultado hasta haber consumido en él toda su fuerza de voluntad. Aumentó los elementos de 10 hasta 20, pero sin éxito. La corriente circulaba tranquilamente por el hilo del circuito, sin producir á su paso ninguna desviacion en la aguja del galvanómetro.

»*¡A su paso!* Precisamente durante este período esperaba obtener el efecto buscado. Pero la potencia de vision lateral de Faraday, que le permitió observar fuera de la línea de mira, vino en su auxilio, y el ilustre físico notó que la aguja hacia un ligero movimiento siempre que cerraba el circuito, que volvia en seguida á su posicion de equilibrio y se mantenia tranquila, sin que influyese en ella la corriente que pasaba. Pero en el momento en que se rompia el circuito, la aguja se movia de nuevo, siquiera fuese entónces en direccion opuesta á la de la desviacion observada al cerrar el circuito.

»Estos resultados y otros análogos le indujeron á deducir que al atravesar la corriente de la pila el primer hilo debia engendrar en el segundo una corriente semejante, la cual sólo duraba un momento, pareciéndose más en su naturaleza á la onda eléctrica emanada de una botella de Leyden ordinaria que á la corriente de la pila.» (Tyndall, *Faraday inventor.)*

son en 1834, con las descargas de electricidad estática. Vamos á reseñar rápidamente los principales experimentos por medio de los cuales se comprueba esta nueva serie de fenómenos, despues de lo cual describiremos los notables

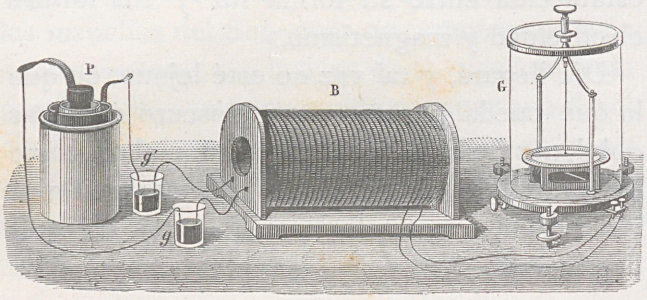


Fig. 191.—Induccion por una corriente

aparatos cuya construccion está basada en las leyes de la induccion, y que sirven hoy para producir electricidad con extraordinaria potencia.

Para obtener corrientes inducidas un poco intensas, hay que dar á los hilos paralelos una longitud considerable. Se evita el inconveniente que de ello resulta, enrollando cada hilo recubierto de seda en un cilindro hueco, de carton ó de madera. Los dos extremos del hilo van á parar á dos botones metálicos fijos en una de las bases del cilindro y que sirven para poner la hélice formada de este modo en comunicacion con los dos reóforos de una pila ó con un galvanómetro.

Tomemos dos bobinas, una de mayor diámetro que otra, de modo que la más pequeña pueda penetrar en la cavidad cilíndrica de la mayor. Esta, que se pone en comunicacion con un galvanómetro, será la *bobina inducida;* aquella, que es la *bobina inductora*, se empalma, despues de introducida en la primera, á los polos de un elemento Bunsen. Al cerrarse el circuito, la aguja del galvanómetro indica con su desviacion que una corriente inducida inversa ha atravesado las espiras de la primera bobina; pero la aguja retrograda al punto, vuelve al cero despues de oscilar un poco, y en él permanece miéntras circula la corriente. Si se rompe entónces el circuito inductor, la aguja se desvia en sentido contrario, indicando por lo tanto el nacimiento de una corriente inducida directa. Luégo vuelve otra vez al cero, y subsiste en él miéntras el circuito está roto.

¿Qué demuestra este experimento? Que toda corriente voltaica desarrolla en un hilo conductor inmediato, en el instante en que comienza, una corriente inversa; en el momento en que termina, una directa; y por último, que su accion inductora es nula miéntras dura la corriente inductora.

Supongamos ahora que la bobina inductora está en comunicacion con la pila, y el circuito cerrado ántes de acercar las dos bobinas una á otra, como lo muestra la figura 192. Si acercamos bruscamente la bobina inductora á la inducida, nace en esta una corriente inversa, y así lo indica la desviacion de la aguja del galvanómetro. Dicha corriente cesa al punto; pero si se retira entónces la bobina inductora, desarróllase una corriente inducida directa, la cual cesa inmediatamente como la primera. En una palabra, todo ocurre como en el primer experimento, siendo aquí la induccion consecuencia del movimiento relativo del conductor y de la corriente.

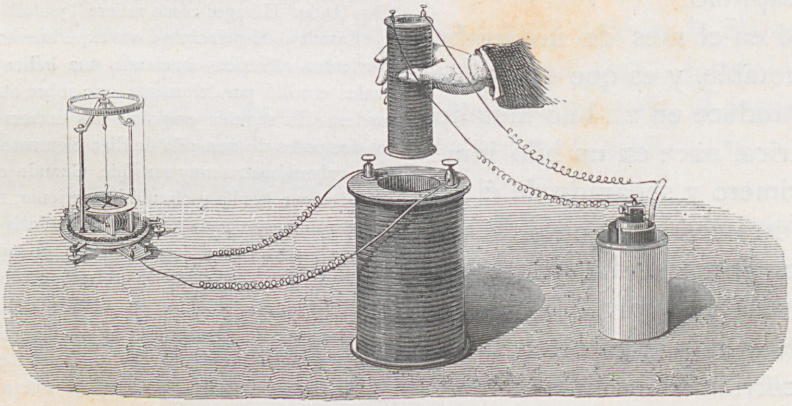


Fig. 192.—Induccion por la aproximacion ó desviacion de una corriente

Supongamos por último, que se repiten los dos experimentos anteriores; pero que, en el intervalo que media entre el desarrollo de las

dos corrientes inducidas opuestas, se aumenta la intensidad de la inductora; en el mismo instante en que tiene efecto este aumento, se desvía la aguja del galvanómetro que habia vuelto al cero, indicando así el nacimiento de una corriente inducida inversa. Si, por el contrario disminuye la intensidad de la inductora, se pro-

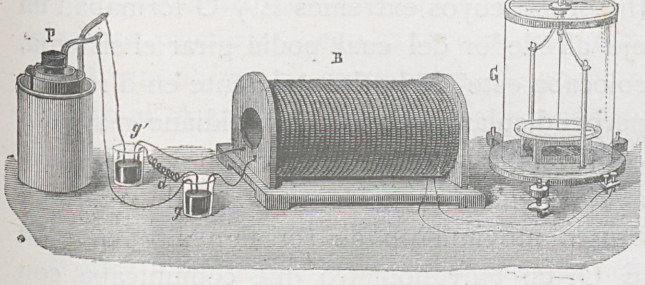


Fig. 193.—Induccion por la variacion de intensidad de una corriente

duce una corriente directa en la bobina inducida.

Para efectuar este último experimento, se ponen en mutua comunicacion dos puntos intermedios del circuito inductor, mediante un hilo de desviacion *d* (fig. 193), cuyos extremos se introducen en el mercurio de los vasitos *g* y *g'*. En el momento en que se establece esta derivacion, la intensidad de la corriente disminuye de pronto en la bobina inductora, porque el hilo de la derivacion absorbe una parte de ella. La desviacion de la aguja del galvanómetro indica al punto que en la bobina inducida ha nacido una corriente directa, y luégo vuelve á su primera posicion. Pero si se suprime entónces la derivacion, la corriente inductora recibe un aumento brusco de intensidad, demostrándose así el nacimiento de una corriente inducida directa.

Se puede pues resumir del modo siguiente los fenómenos de induccion por una corriente:

Una corriente voltaica desarrolla por influencia ó induccion, en un hilo conductor inmediato, otra corriente de direccion opuesta á la suya, es decir, una *corriente inducida inversa:*

1.° Cuando empieza;

2.° Cuando se acerca;

3.° Cuando aumenta en intensidad.

La misma corriente produce otra *inducida directa*, ó de igual direccion á la suya:

1.° Cuando acaba;

2.° Cuando se aleja;

3.° Cuando disminuye de intensidad.

Ahora veremos que con las corrientes magnéticas, es decir, con los imanes se producen los mismos fenómenos, con lo cual la teoría de Ampère quedará confirmada de nuevo por los experimentos del ilustre Faraday.

II

INDUCCION POR LOS IMANES

Pongamos los extremos de la hélice de una bobina en comunicacion con un galvanómetro, y acerquemos de pronto uno de los polos de un iman al eje del cilindro de la bobina; la aguja del galvanómetro se desviará al punto para volver en seguida al cero. La direccion de la desviacion indica el desarrollo de una corriente opuesta á la que, segun la teoría de Ampère, representa la accion del polo inmediato á la bobina. Pero la corriente inducida cesa al punto, y no se vuelve á notar nada miéntras continúa el iman cerca de aquella (fig. 194). Si de pronto se quita este, la aguja del galvanómetro se desvia en sentido contrario, y despues de oscilar un poco, vuelve al cero, marcando por consiguiente el nacimiento de una corriente inducida directa.

Supongamos que ántes de acercar el iman se ha introducido en la bobina un cilindro de hierro dulce (fig. 195). Si se aproxima uno de los po-

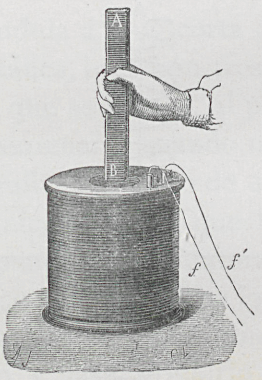


Fig. 194.—Induccion por un iman

los del iman moviéndolo en la direccion del eje del cilindro, habrá induccion y nacimiento de una corriente inversa por dos razones: primera, porque la presencia del iman basta para producir la corriente inducida; y segunda, porque el hierro dulce se imanta á su vez por influencia y ejerce cierta reaccion sobre la hélice de la bobina. Lo que así lo prueba es que la desviacion de la aguja del galvanómetro es mayor en

este experimento que en el anterior. La misma observacion es aplicable á la corriente inducida directa, desarrollada en la bobina por la separacion rápida del iman. Por último, si se varia la distancia del iman al hierro dulce, la imanta-

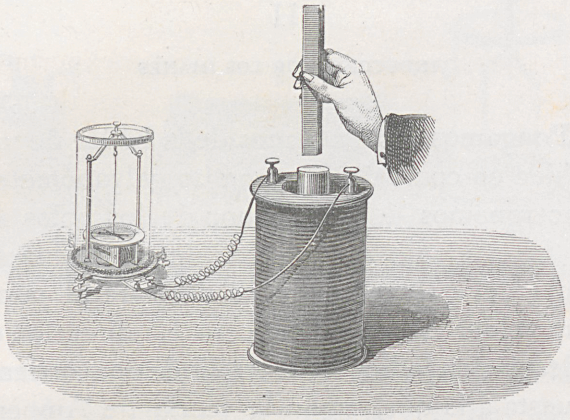


Fig. 195. — Induccion por el nacimiento ó desaparicion de un polo magnético

cion de este aumenta ó disminuye, y se comprueba, tanto en una como en otra circunstancia, el nacimiento de corrientes inducidas opuestas.

En resúmen, hay induccion de un hilo conductor por un iman y produccion de una corriente inducida inversa:

1.° Cuando se acerca el polo magnético;
2.° Cuando se establece;
3.° Cuando su intensidad aumenta;

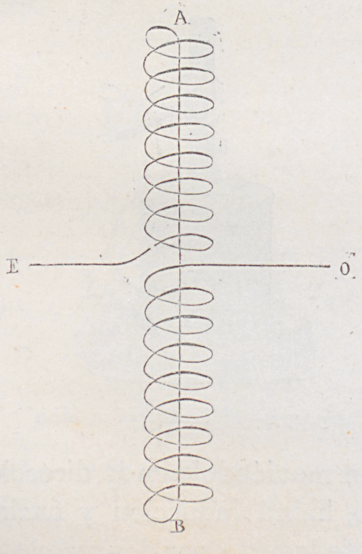


Fig. 196.—Accion inductora de la Tierra

Por el contrario, hay produccion de una corriente inducida directa:

1.° Cuando se aleja el polo magnético;
2.° Cuando se le destruye;
3.° Cuando su intensidad disminuye.

Asimilada la Tierra, en la teoría del magnetismo de Ampère, á un gigantesco iman, ó más bien á un solenoide cuyas corrientes particulares van en direccion Este-Oeste, debe ser susceptible como los imanes de producir corrientes de induccion; y así sucede en efecto, habiendo confirmado los experimentos de Faraday esta prevision de la teoría. Cogiendo una hélice AB (fig. 196), cuyos extremos E y O formaban un eje alrededor del cual podia girar el sistema, colocaba este eje horizontalmente en direccion perpendicular al plano del meridiano magnético, y daba á la hélice una posicion paralela á la aguja de inclinacion. Entónces la imprimia un brusco movimiento de rotacion alrededor de E O; un galvanómetro que comunicaba con los hilos de la hélice indicaba la generacion instantánea de una corriente, cuya direccion cambiaba á cada semi-revolucion. Faraday habia empezado por poner en la hélice una barra de hierro dulce que se imantaba por influencia de la Tierra, de suerte que ésta ejercia su accion inductora por intermedio de la barra. Pero como el movimiento de rotacion y el cambio de direccion que de ello resultaban hacian variar la imantacion de la barra, estas mismas variaciones engendraban corrientes inducidas de la misma direccion que las de la bobina, y al agregarse á estas sus efectos se confundian.

Dase el nombre de *extra-corriente* á una corriente inducida que se desarrolla por la accion de otra corriente sobre sí misma, es decir, sobre una parte de su propio circuito. Véase cómo aquel ilustre físico ha hecho evidente la extra-corriente. Una pila P (fig. 197) envia una corriente á un circuito A C B D, empalmando con un hilo de derivacion C D á un galvanómetro G. Por la influencia de esta corriente continua, la aguja del galvanómetro se desvia y toma una posicion de equilibrio xy. Rómpese entónces el circuito en A, lo cual interrumpe la corriente; pero con una cala se conserva á xy en su posicion, para impedir que retroceda á ab, posicion que ocupaba ántes de dar paso á la corriente. Restablécese el circuito en A, y en seguida experimenta la aguja un

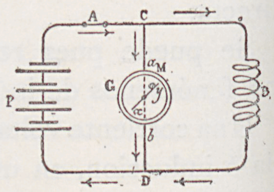


Fig. 197.—Experimento para demostrar la existencia de la *extra-corriente*

exceso de desviacion, para retroceder de nuevo á xy. Así pues, en el momento de restablecer el circuito, se ha formado en él una corriente más intensa que la ordinaria, lo cual no puede explicarse sino por la induccion de unas espiras de la hélice B sobre otras. La corriente inducida comprobada de tal modo, circula pues en direccion C D, puesto que ha actuado sobre el hilo del galvanómetro en el mismo sentido que la corriente primaria; luego es inversa con relacion á esta última. Si se rompiese de nuevo el circuito en A resultaria una desviacion contraria de la aguja, mantenida en ab por una cala colocada en direccion opuesta, indicando así el orígen de una extra-corriente directa.

Todos los fenómenos de induccion que acabamos de describir, y en general todos los que se han comprobado, cualquiera que sea su orígen, están sujetos á leyes que se pueden refundir en un solo enunciado, el cual se conoce con el nombre de *ley de Lenz*, del del físico ruso que ha dado su fórmula. Hé aquí este enunciado: *Cuando cerca de una corriente ó de un iman se acerca ó aleja rápidamente un circuito ó conductor cerrado, se desarrolla en éste una corriente de tal sentido, que por la reaccion de la corriente inducida sobre la corriente ó sobre el iman inductor, tiende á oponerse al movimiento. Lo propio sucede si se acerca ó aleja la corriente ó el iman, siendo el conductor el que permanece inmóvil.*

Terminemos este artículo explicando lo que se entiende por *corrientes inducidas de órden superior*. Estas son las engendradas por la accion inductora de las corrientes, inducidas á su vez por una de las causas anteriormente enumeradas. La experiencia demuestra que ciertas corrientes inducidas de esta primera categoría ó de *primer órden*, pueden inducir en circuitos inmediatos corrientes de *segundo órden*, y así sucesivamente. Una corriente inducida de segundo órden, desarrollada por otras dos, una de las cuales por ejemplo acaba miéntras la otra empieza casi en el mismo instante, está constituida por dos corrientes de opuestas direcciones, de suerte que sus efectos en la aguja del galvanómetro son nulos; pero no sucede así si se las hace actuar convenientemente sobre un voltámetro, pues en este caso, una y otra producen desprendimientos de gas en los dos polos; pudiéndose tambien comprobar su influencia fisiológica, y observar por ejemplo las contracciones que producen en los músculos de una rana.

III

MAGNETISMO DE ROTACION

Arago hizo en 1824 el siguiente experimento. Con objeto de averiguar la intensidad magnética de una aguja imantada, la hizo oscilar horizontalmente sobre un disco de madera que llevaba un círculo graduado. Habiendo repetido el mismo experimento valiéndose de un limbo de cobre, vió que la disminucion de amplitud era mucho más rápida en este caso que en el primero; la duracion de las oscilaciones no habia variado, pero se necesitaba ménos número de ellas para tener la misma reduccion de amplitud. Con un disco macizo de cobre el efecto fué aún más marcado; cuando la aguja

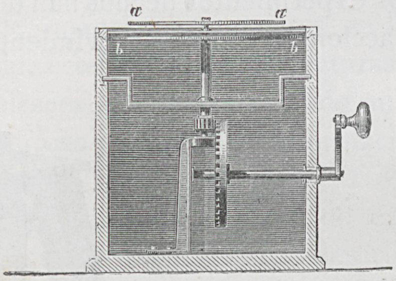


Fig. 198.—Aparato para desarrollar el magnetismo de rotacion

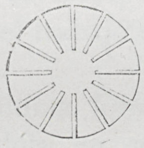


Fig. 199. — Disco de cobre dividido en segmentos

estaba suspendida á muy corta distancia de la superficie metálica, bastaban tres ó cuatro oscilaciones para que se parase, al paso que se las contaba por centenares cuando no habia disco.

Arago reemplazó el disco de cobre con otros de varias sustancias, y vió que la energía del fenómeno dependia de la naturaleza de estas, siendo por lo comun mayor con los cuerpos conductores, como los metales. Sin embargo, el agua, el hielo, y hasta el vidrio amortiguaban las oscilaciones de la aguja.

En lugar de hacer mover la aguja, ocurriósele á Arago poner en movimiento el disco sobre la que estaba suspendida. Su prevision quedó confirmada, pues la aguja se desvió en el sentido de la rotacion. Conforme crecia la velocidad del platillo, aumentaba la desviacion; y cuando llegaba á los 90°, la aguja adquiria un movimiento continuo de rotacion, ménos rápido que el del disco, pero de igual direccion. Arago puso una

hoja de papel entre la aguja y el disco giratorio, para impedir el movimiento de la capa de aire contigua que hubiera podido perturbar el fenómeno. El aparato de relojería que producia la rotacion era enteramente de cobre, con lo cual se evitaba toda accion magnética ordinaria.

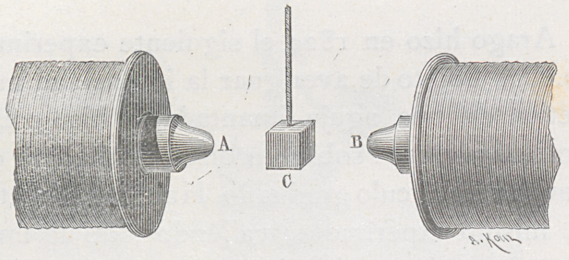


Fig. 200.—Experimento de Faraday y de Plucker

Se puede hacer el experimento con el aparato representado en la figura 198. *aa* es la aguja suspendida sobre un eje vertical; *bb* el disco giratorio que recibe su movimiento de rotacion de una rueda de ángulo movida por un manubrio.

Los numerosos experimentos hechos han demostrado que la accion del disco en movimiento es tanto más enérgica cuanto mejor conductora la sustancia de que está formado (siendo el efecto máximum con el hierro, es mínimum con el bismuto); que se debilita notablemente si el disco está calado, si tiene muchas soluciones de continuidad, como hendiduras en la direccion de los radios; y por último, que si se ponen los hilos de un galvanómetro en contacto con dos puntos del disco móvil, se nota el desarrollo de una corriente.

Dase el nombre de *magnetismo de rotacion* al conjunto de estos fenómenos, cuya causa no se pudo comprender hasta que se descubrió la induccion. Faraday probó entónces que dimanaban de corrientes inducidas en el disco en movimiento, las cuales, por su reaccion sobre la aguja, tienden á hacerla marchar en sentido de la rotacion.

Recurramos de nuevo al aparato que nos ha servido para comprobar los fenómenos de diamagnetismo, y suspendamos entre los dos polos del electro-iman un cubo de cobre (fig. 200),

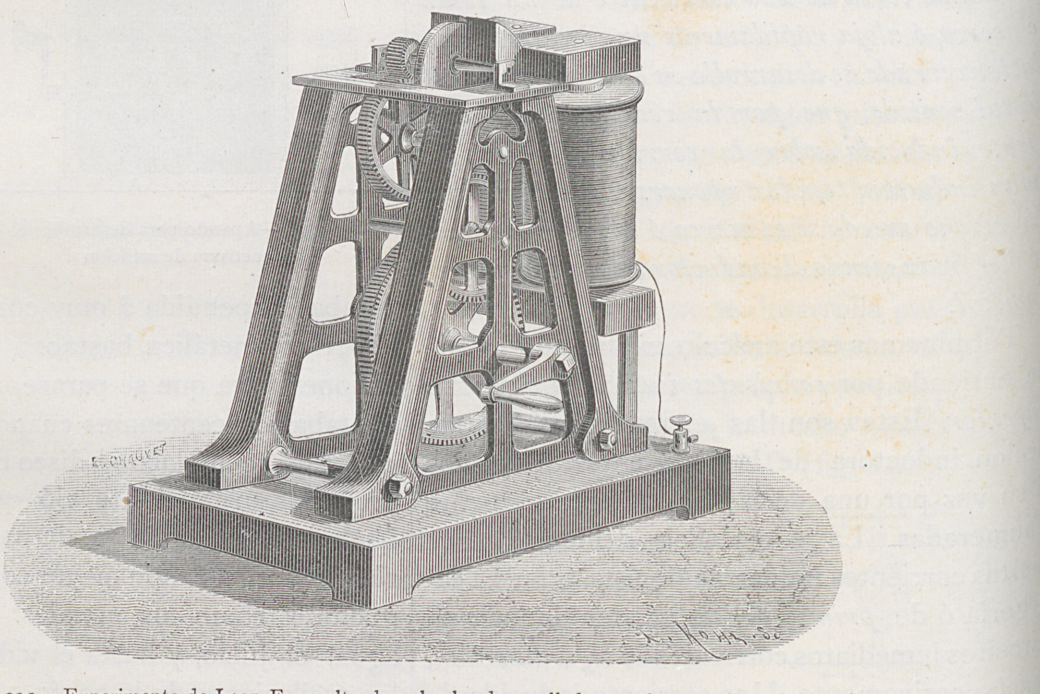


Fig. 201.—Experimento de Leon Foucault sobre el calor desarrollado por el magnetismo de rotacion

pero retorciendo mucho el hilo de suspension. Al abandonar al cubo á sí mismo, el hilo se destuerce é imprime al cubo un rápido movimiento de rotacion. Si entónces se hace pasar una corriente por el electro-iman, el cubo se detiene bruscamente: si se suprime la imantacion en el electro- iman, renuévase el movimiento de rotacion del cubo. En el momento de emitir la corriente al electro-iman, se desarrollan corrientes inducidas en el cobre siendo la reaccion del magnetismo ó de las corrientes particulares del electro-iman sobre las inducidas las que ocasionan la detencion del cubo. La supresion del magnetismo del iman engendra corrientes inducidas de sentido contrario, que restituyen al cubo su movimiento primitivo de rotacion.

Plucker y Tyndall repitieron este experimento, discurrido por Faraday (1).

Requiérese cierto trabajo para vencer la resistencia que opone la influencia de la accion magnética al movimiento del cubo, puesto entre los polos del electro-iman, en el experimento anterior, ó en otros términos, se puede operar de modo que el movimiento persista á pesar de la influencia del iman. El trabajo consumido de tal suerte, da lugar al desarrollo de nuevas corrientes de induccion, y por lo tanto á que se calienten los conductores, segun lo ha probado Leon Foucault haciendo el siguiente experimento.

«Entre los polos de un gran electro-iman, dice, he introducido parcialmente el sólido de revolucion perteneciente al aparato rotatorio al cual he dado el nombre de *giroscopio*, y que me sirvió anteriormente para hacer experimentos de muy distinta índole. Este sólido es un toro de bronce (2) unido por un piñon dentado á una rueda motora, y que impelido por un manubrio, puede adquirir una velocidad de 150 á 200 vueltas por segundo. Para hacer más eficaz la accion del iman, hay dos piezas de hierro dulce añadidas á las bobinas, que prolongan los polos magnéticos y los concentran en la inmediacion del cuerpo giratorio.

»Cuando el aparato marcha con toda velocidad, la corriente de seis pares Bunsen dirigida al electro-iman, extingue el movimiento en pocos segundos como si se hubiera aplicado al móvil un freno invisible, viniendo así á representar el experimento de Arago, desarrollado por Faraday. Pero si entónces se da vuelta al manubrio para devolver al aparato el movimiento perdido, la resistencia que se experimenta obliga á invertir cierto trabajo cuyo equivalente reaparece y se acumula efectivamente en calor en el interior del cuerpo giratorio.

»Merced á un termómetro que penetra en la masa, se puede seguir paso á paso la elevacion progresiva de la temperatura. Habiendo tomado, por ejemplo, el aparato á la temperatura ambiente de 16 grados centígrados, he visto subir el termómetro sucesivamente á 20, 25, 30 y 34; pero el fenómeno estaba ya bastante desarrollado para no necesitar el empleo de los instrumentos termométricos, notándose en la mano el calor producido.

»A los pocos dias, reducida la pila á dos pares, llegó un disco plano de cobre rojo, en dos minutos de accion, á 60° de temperatura.

»Si el experimento parece digno de interés, será fácil disponer un aparato para reproducir, ampliándolo, el fenómeno de que me ocupo. No es dudoso que, con una máquina convenientemente construida y compuesta tan sólo de imanes permanentes, se llegue á producir de este modo temperaturas elevadas, y á ofrecer al público, reunido en las cátedras, un curioso ejemplo de trasformacion del trabajo en calor.»

J. Tyndall ha realizado esta última forma dada al experimento, describiéndola en sus conferencias sobre el calor considerado como modo de movimiento. El sabio profesor de la Royal Institution hacia girar entre los polos de un electro-iman un cilindro metálico sólido cuyo núcleo estaba compuesto de un metal más fusible que el de la envolvente exterior; ésta era de cobre, por ejemplo, y el núcleo de una aleacion pura, pero muy fusible. Activado el electro-iman por el paso de la corriente, el núcleo quedaba fundido á los dos minutos, y Tyndall podia derramar el metal licuado en presencia de los espectadores.

IV

INDUCCION PERIPOLAR

Con objeto de resolver algunas dificultades y de aclarar varios puntos oscuros de la ley de Lenz aplicada á las corrientes inducidas del magnetismo de rotacion, Le Roux ha construido un aparato y efectuado un experimento interesante, cuya descripcion tomamos del mismo autor.

(1) Tyndall compara la resistencia experimentada por el cuerpo metálico entre los polos del electro-iman con la de un medio viscoso. «Aunque la vista no percibe resistencia alguna, dice, si se obliga al cobre á girar en el campo magnético despues de la exitacion, creeríase que está sumergido en un flúido viscoso. Si se imprime á una pieza plana de este metal un movimiento de vaiven ó de sierra entre los dos polos la resistencia que experimenta se parece á la que opone una masa de manteca ó de queso al cuchillo que la corta. Esta *frotacion virtual* del campo magnético es tan fuerte, que el cobre que recibiera entre los polos una rotacion rápida, se calentaria probablemente hasta fundirse.» Segun veremos, Tyndall lo ha efectuado así.

(2) En la figura 201, que representa el aparato tal como está construido con objeto de reproducir especialmente el experimento ántes descrito, el toro está reemplazado por un disco que permite acercar más aún los polos del electro-iman.

«Hé aquí la disposicion de mi aparato (figura 202), dice, el cual ha sido construido por M. Ruhmkorff con su habilidad notoria; un disco de cobre rojo B de 15 centímetros de diámetro y de unos 2 milímetros de espesor, recibe de un sistema de engranajes un movimiento de rotacion de 180 vueltas cuando más por segundo. Este disco se mueve entre dos masas circulares de hierro dulce F F, que están todo lo posible inmediatas á él y con el cual son concéntricas: ambas masas están sostenidas en una especie de bastidor rectangular de hierro dulce, ocupando interiormente la parte media de sus lados mayores; cuatro carretes electro-dinámicos rodean las partes de estos bastidores contiguas á las referidas masas, de modo que éstas adquieren polaridades contrarias. Todo está dispuesto con la simetría más perfecta para que la línea de los centros de figura de estas masas se pueda considerar como si contuviera sus polos. Arreglado todo de esta suerte, se imanta el aparato, dirigiéndole la corriente de cierto número de elementos de Bunsen.

»Si se aplica á semejante sistema la ley de

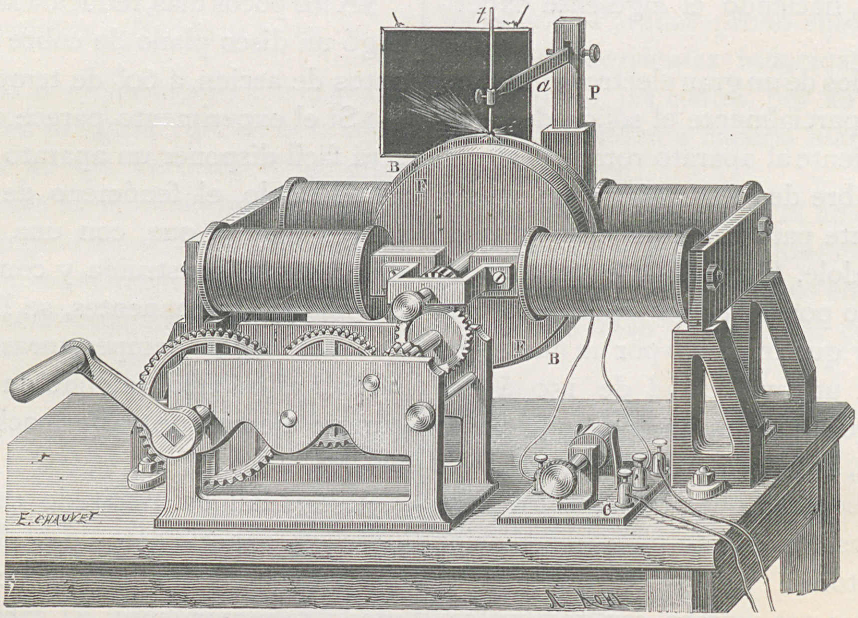


Fig. 202.—Induccion peripolar. Aparato y experimento de Le Roux

Lenz, fácilmente se ve que deben nacer en el disco fuerzas electro-motrices, todas las cuales son radiales, y por lo tanto no habrá produccion de corriente sino cuando se haga comunicar la circunferencia del disco con su parte central por medio de frotadores convenientemente situados.»

Y así sucede en efecto. Si no se ha establecido la comunicacion de que acabamos de hablar, la rotacion del disco es tan fácil como si la corriente no pasara. No se experimenta la resistencia que hemos indicado en los experimentos de Foucault, ni el calentamiento del disco que es su consecuencia. Entónces no hay, por intensa que sea la imantacion, otro gasto de fuerza sino el que ocasionan los roces. Pero si se ponen en relacion el centro y la circunferencia con una varilla metálica *t* que descansa en la circunferencia del disco y que está dirigida por un brazo horizontal *a* (fijado en una columna P que comunica á su vez con el eje del disco), las cosas pasan de otro modo. Al punto se nota la existencia de una corriente inducida, la cual se conoce por las chispas que brotan de continuo. «El sentido de esta corriente concuerda con la ley de Lenz, dice Le-Roux; cambia con el movimiento de rotacion y tambien con la imantacion. Por el método de oposicion he averiguado que la fuerza electro-motriz puede llegar, segun la velocidad de la rotacion y la intensidad de la imantacion, hasta cerca de tres veces la fuerza del elemento zinc amalgamado—sulfato de zinc, cadmio—sulfato de cadmio. Vése pues que aquí hay desarrollo de electricidad, la cual no puede atribuirse á causas accidentales, siendo comparable á la que producen las máquinas magneto-eléctricas basadas en las variaciones de la distancia á un polo magnético ó en las de su intensidad. Hay que notar, en efecto, que el circuito inducido es muy

corto, puesto que se reduce al radio del disco.»

Así pues, no es dudoso que el movimiento de un cuerpo que gira alrededor de un eje que pasa por un polo de iman induzca fuerzas electro-motrices radiales. Para caracterizar esta clase de fenómenos, este sistema de induccion, en que los diferentes puntos del cuerpo inducida quedan á la misma distancia del polo inductor, M. Le Roux la ha llamado *induccion peripolar*.

CAPITULO X

LAS MAQUINAS DE INDUCCION

I

MÁQUINAS DE INDUCCION ELECTRO-VOLTAICAS

El descubrimiento de las máquinas de induccion motivó el que se concibiera en seguida la idea de construir aparatos ó máquinas adecuadas para recoger las corrientes inducidas por la accion recíproca de las corrientes y de los imanes ó de los electro-imanes, y obtener por consiguiente todos los efectos mecánicos, físicos ó fisiológicos de las pilas ó de los condensadores eléctricos. Y en efecto, un constructor de instrumentos de física llamado Pixii inventó en 1832 la máquina que lleva su nombre, á la cual siguieron en breve los inventos de otros muchos aparatos basados en el mismo principio.

Las máquinas de induccion usadas hoy, y de las cuales describiremos las más notables, pueden dividirse en tres clases principales, segun como se produzca en ellas la electricidad. En la primera clase, una accion electro-química, es decir, la corriente de una pila es la que induce su propio circuito ó bien uno inmediato; puede darse á estas máquinas el nombre de *electro-voltaicas* ó tambien el de *reo-eléctricas*, segun lo propuso Le Roux. El carrete de Ruhmkorff es el tipo de los aparatos de este género. A la segunda clase corresponden las máquinas que requieren cierta fuerza mecánica así como un iman permanente para producir una corriente inducida, á la cual se hace en seguida inducir su propio circuito ó bien otro próximo, y como en este caso, el movimiento relativo de un circuito y de un iman originan la induccion, dase á las máquinas de esta segunda clase el nombre de *magneto-eléctricas*. La tercera comprende las máquinas de induccion que sólo emplean la fuerza mecánica para producir corrientes inducidas, y que para funcionar no necesitan más que el escaso magnetismo remanente que existe en el hierro dulce de los mismos electro-imanes, por cuya razon se las llama *dinamo-eléctricas*.

Empecemos nuestra descripcion por el carrete de induccion, máquina reo-electrica cuya primera idea se remonta á las investigaciones practicadas en 1842 por Masson, y que hoy lleva el nombre del célebre constructor que, al darle su forma actual, aumentó tan considerablemente su potencia: nos referimos al *carrete* ó *bobina de Ruhmkorff*.

Esta máquina de induccion está representada en la figura 203. Se compone de dos carretes: uno interior, que es el inductor, cuya hélice consiste en un alambre de regular diámetro (de 2 á 3 milímetros), pero de escasa longitud (por ejemplo, 50 ó 60 metros): los dos extremos de este alambre se ven en f y f' sujetos á dos columnitas de laton. El carrete inducido está enrollado sobre el primero, el cual va metido concéntricamente en su cavidad interior; su hélice se compone de un alambre sumamente fino (un cuarto de milím.) y de longitud tal, que puede llegar hasta 120 kilómetros. Los dos extremos del alambre inducido van á unirse exteriormente con dos tuercas metálicas A y B en las que rematan dos columnas aisladoras de vidrio. Por último, en el interior del carrete inductor hay un haz cilíndrico de alambres gruesos de hierro dulce, reunidos en sus extremos por dos discos del mismo metal.

Siempre que la corriente de un electro-motor, por ejemplo, la de una pila, pase por el alambre

inductor entrando por *f* y saliendo por *f'*, nacerá una corriente inducida en el alambre del carrete exterior por efecto de la influencia de la hélice inductora y de la imantacion del haz de hierro dulce; y cuando se interrumpa la corriente inductora, nacerá en la hélice inducida otra corriente de sentido opuesto á la primera. Multiplicando el número de pasos de la corriente y el de sus interrupciones, resultará una serie de corrientes instantáneas, tan seguidas y tan intensas, que su efecto será superior al de las baterías más poderosas. Réstanos decir en virtud de qué mecanismo se obtienen estas interrupciones sucesivas.

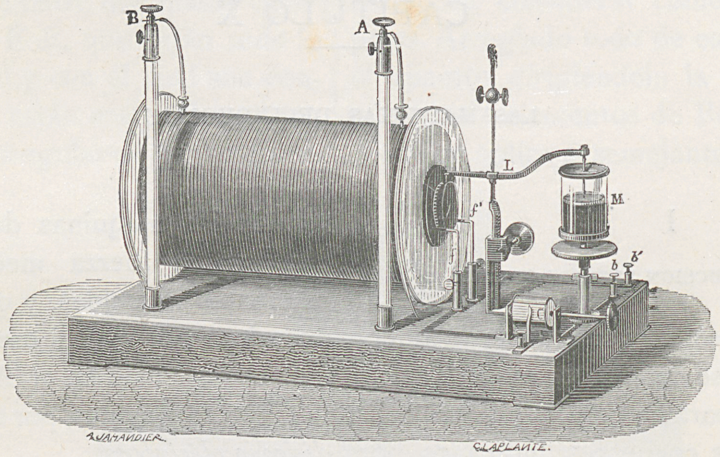


Fig. 203.— Máquina de induccion de Ruhmkorff

Vése en L, articulada en una columna metálica, una palanca de dos brazos, uno de los cuales lleva una punta que enrasa con la superficie del mercurio contenido en un vaso M, al paso que la otra termina en un martillito de hierro dulce, situado á corta distancia del haz de alambres de hierro del carrete inductor. Cuando la punta toca la superficie del mercurio, el martillito del otro brazo está separado del haz, y recíprocamente, si existe este contacto, la punta no llega al mercurio. Partamos de la primera hipótesis y veamos lo que pasa en el aparato. La corriente de la pila pasa entónces á la columna que sostiene el vaso lleno de mercurio, sigue por el líquido, por la punta puesta en contacto con él y por el brazo L de la palanca, y baja por la columna que lo sostiene, yendo á parar, por una tira metálica, al alambre *f'* del carrete inductor: en seguida recorre toda la hélice inductora, sale por *f* y vuelve al otro reóforo de la pila. Así pues el contacto de la punta con el mercurio da paso á la corriente inductora. Pero en el momento en que esta empieza, el haz de hierro dulce se imanta, atrae el martillito de la palanca, levantando por consiguiente el brazo en que está la punta y haciendo que ésta se desvie de la superficie del mercurio, con lo cual queda interrumpida la corriente. Entónces cesa la imantacion, y con ella el contacto del martillo, volviendo la punta á introducirse de nuevo en el mercurio. Miéntras la hélice inductora esté en comunicacion con la pila, se reproducirán los mismos fenómenos de igual modo.

M. Leon Foucault ideó el interruptor de mercurio que acabamos de describir, usándosele sobre todo para los carretes más enérgicos, en cuyo caso se le pone en accion mediante una pila especial.

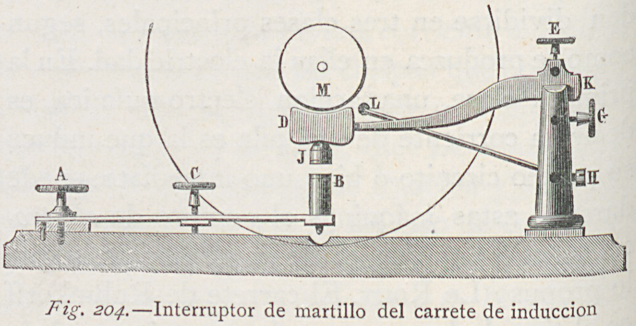


Fig. 204.—Interruptor de martillo del carrete de induccion

Obtiénese tambien la abertura y el cierre automáticos de la corriente inductora con el *interruptor de martillo*, cuya disposicion se ve en la figura 204. El alambre del carrete inductor L va á parar á la columna metálica aislada H G, que lleva el martillo K D, cuya masa D tiene una prolongacion ó apéndice de platino J. Antes de pasar la corriente, el martillo descansa en la pieza B, chapeada tambien de platino en

su cara superior; mas al llegar aquella por el alambre L, la columna H G, el martillo y la pieza B A, el cilindro de hierro dulce del carrete inductor M se imanta, atrae y levanta el martillo y se interrumpe la corriente; al cesar ésta, cesa tambien la imantacion, el martillo vuelve á caer sobre la pieza B y se restablece la corriente. A estas aberturas y cierres sucesivos de la corriente, corresponden, segun hemos visto más arriba, las corrientes inducidas del carrete exterior, y la máquina funciona.

Se han inventado varias clases de interruptores, entre los cuales haremos mencion del de ruedas de Spottiswoode, y de los rápidos de este físico y de Gordon, los cuales producen hasta 6,000 interrupciones de la corriente por segundo.

Digamos ahora algo acerca del conmutador C. Dáse este nombre á un aparato que tiene por objeto, ora cambiar la direccion de la corriente inductora, ó bien interrumpirla. El conmutador de Ruhmkorff (fig. 205) llena ambos objetos á beneplácito; es á la vez *reotomo* (interruptor de la corriente) y *reotropo* (invertidor de la misma). Consiste en un cilindro de boj ó de vidrio, cuya superficie convexa está en parte cubierta con dos chapas de cobre C, C', gruesas en medio y adelgazadas en los bordes, las cuales dejan entre sí en descubierto dos partes de la superficie del cilindro aislador. A los lados hay dos muelles *f f'* que se apoyan lateralmente contra el cilindro, cuando éste se halla vuelto de modo que presenta á aquellos el espesor de las chapas de cobre. Si se hace girar 90 grados este cilindro con un tornillo de que está provisto su eje, las tiras metálicas de los muelles se encuentran enfrente del vidrio, pero sin tocarlo. En la primera posicion la corriente pasa; en la segunda, queda interceptada. Y en efecto, la corriente llega de la pila al tornillo A, y de aquí pasa por el muelle *f* á la chapa de cobre C. Esta última comunica por otro tornillo *g* con uno de los muñones del cilindro, luego con el tornillo D, y recorre el circuito, uno de cuyos extremos está fijo en este último punto. Vuelve por el otro extremo al tornillo D', al segundo muñon del cilindro, y por el tornillo *g'* á la placa C', y finalmente por el muelle *f'* al otro tornillo A', desde el cual vuelve á la pila. Si los muelles *f*, *f'* no tocan á las placas C, C', la corriente no podrá ya pasar; por consiguiente, el aparato es verdaderamente interruptor ó *reotropo*.

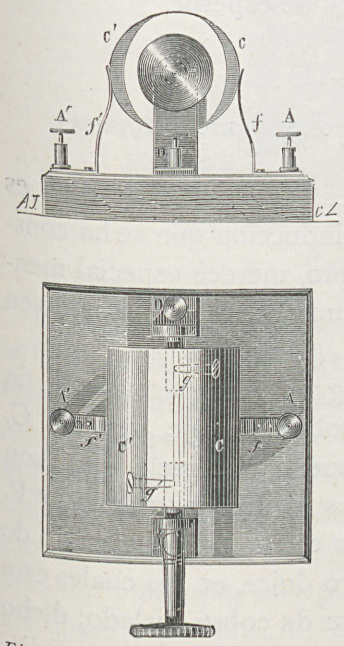


Fig. 205.—Conmutador de la bobina de Ruhmkorff. Plano y elevacion

Pero cuando la corriente pasa como acabamos de decir, basta volver el boton 180° para cambiar su direccion, porque entónces la placa C' es la que toca el muelle *f*, y la corriente irá de D' á D, en vez de ir al contrario. Por lo tanto, el interruptor de Ruhmkorff es además *conmutador*, es decir, *invertidor* de la corriente ó *reotropo*. Forma parte del carrete de induccion; pero es obvio que se puede utilizar siempre que se necesite hacer en una corriente alguno de los dos cambios para que está construido.

Lo propio puede decirse del conmutador Bertin, representado en la fig. 206. Véase su descripcion: Consiste en una roldana de ebonita la cual puede girar alrededor de su centro merced á un pequeño manubrio, limitado en su movimiento á derecha é izquierda por dos cuñas *c*, *c'*. Una lengüeta metálica *a* comunica por el eje de la roldana con la borna P á la cual va á parar el hilo positivo de la pila. Otra pieza metálica *m n*, que rodea á la primera en forma de U, comunica por el contrario con la borna N á la cual está sujeto el hilo del polo negativo. En la posicion indicada en la figura, la lengüeta está en contacto con el muelle *r'*, y en el extremo *m* de la segunda pieza toca al muelle *r*. Ambos muelles están á su vez empalmados á las dos bornas B y A que reciben los extremos del circuito exterior, resultando que la corriente va de P á *r'* por la lengüeta *a*, vuelve por A y *r* á la pieza en forma de U y de aquí pasa á la borna N: las flechas de la figura indican la marcha de la corriente. Si se da vuelta al manubrio y á la roldana hácia la derecha, cambiará la corriente y seguirá el camino P, *a*, *r*, A, B,

para volver por r' y n á la borna N. Si se pone el mango á igual distancia de las cuñas c y c', no habrá contacto entre los muelles, la lengüeta y la pieza en forma de U, y se interrumpirá la corriente. La sola vista de la posicion de la pieza móvil indica el sentido de la corriente y su interrupcion.

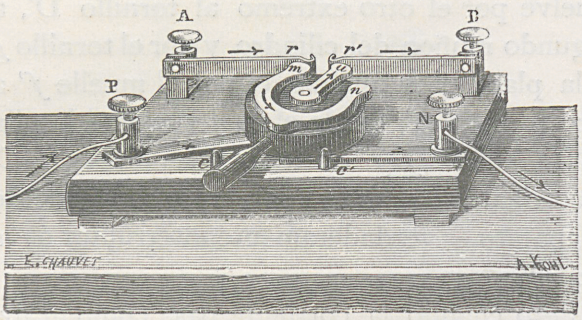


Fig. 206—Conmutador Bertin

Si cuando el carrete de Ruhmkorff funciona se acercan lo bastante los dos extremos del alambre de la hélice inducida, brota una serie de chispas con tal rapidez que el chorro de luz parece continuo. Lo notable es que, de las dos corrientes inducidas de sentido opuesto que nacen de la corriente inductora, la directa es la única que produce chispas: la tension de la corriente inversa no es bastante fuerte para que esta atraviese el aire.

Los primeros carretes daban chispas que tenian á lo sumo 8 milímetros de longitud. Merced á los perfeccionamientos introducidos sucesivamente, entre otros el de Fizeau que consiste en interponer un condensador, por ejemplo, una botella de Leyden, en el circuito, se han podido sacar chispas mucho más largas, de 10, 20 y 30 centímetros. Dando al alambre de la hélice inducida 120 kilómetros de longitud, y poniendo en accion el carrete con diez ó doce elementos Bunsen, M. Ruhmkorff ha podido sacar chispas de 45 centímetros, habiendo traspasado de parte á parte la descarga, vidrios de un decímetro de grueso. Los efectos físicos producidos por tan poderosa máquina son muy notables: se la utiliza para cargar botellas de Leyden y baterías eléctricas, y habiendo cargado M. Jamin 120 botellas de Leyden con cuatro carretes acoplados, cada uno de ellos puesto en accion por dos elementos de Bunsen, pudo fundir y volatizar alambres de hierro, plata y cobre de más de un metro de longitud.

En Inglaterra se han construido carretes de induccion de grandes dimensiones y extraordinaria energía. M. Spottiswoode encargó á M. Apps un carrete que pesa 762 kilógramos, y tiene $1^{m},22$ de largo, siendo su diámetro exterior de $0^{m},508$. El alambre del carrete inductor es de 546 metros de longitud y 25 milímetros de diámetro; el del carrete inducido llega á 450,500 metros. Con cinco elementos Grove da este carrete chispas de 71 centímetros; con diez elementos las da de 89 y con treinta de $1^{m},08$.

El *Instituto politécnico* de Lóndres tiene el carrete mayor de cuantos se han construido. Su longitud es de 3 metros; el núcleo de alambre de hierro pesa 46 kilógramos y la longitud del alambre inductor llega á 3,450 metros, pesando 55 kilógramos. El alambre inducido sólo tiene $0^{mm},4$ de diámetro, pero su longitud es de 241,000 metros. Esta máquina, puesta en accion por 40 elementos de Bunsen, da chispas de 74 centímetros, que traspasan masas de vidrio de 127 milímetros de espesor.

II

MÁQUINAS DE INDUCCION MAGNETO-ELÉCTRICAS

Segun dijimos ántes, la máquina de Pixii es el primer aparato de induccion que se ha construido. Por tal concepto, merece especial mencion, por más que há mucho tiempo ha caido en desuso.

A (fig. 207) es un gran iman permanente de herradura, armado sobre un eje vertical C, alrededor del cual puede hacérsele girar con un manubrio y con las ruedas dentadas R y P. Sobre el iman hay un carrete fijo, formado de dos cilindros de hierro dulce, en los cuales está enrollado un alambre de cobre aislado; dicho carrete tiene sus extremos ó polos á corta distancia de los del iman. En el movimiento de revolucion de éste, sus polos se acercan ó se alejan, á cada vuelta, de los del electro-iman B B', por lo cual nace en el hilo de este último una corriente de induccion cuyo sentido cambia á cada media vuelta. Con un conmutador de construccion apropiada, todas las corrientes inducidas se dirigian en el mismo sentido, de suerte que los hilos a y b del electro-iman, recorridos al principio por corrientes opuestas, al

salir del conmutador en *f f'*, daban un flujo continuo de electricidad.

El aparato de Pixii tenia el inconveniente de ser de incómodo manejo á causa del peso del iman. Reconocióse en efecto que convenia aumentar el peso de este iman permanente, al paso que se podia hacer el electro-iman ménos macizo. Este inconveniente sugirió la idea de que el segundo fuera el móvil y el primero el fijo, y de aquí resultó una primera modificacion introducida por Saxton, el cual puso además el iman en un plano horizontal é hizo que el carrete inducido se moviera alrededor de un eje situado en este plano.

Poco despues varió Clarke el aparato, y dejando el iman permanente vertical, hizo que el carrete girara enfrente de los polos, como vamos á ver.

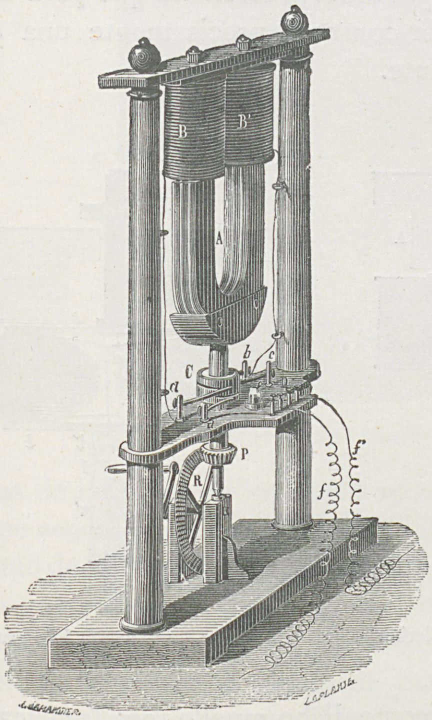


Fig. 207.—Máquina de Pixii

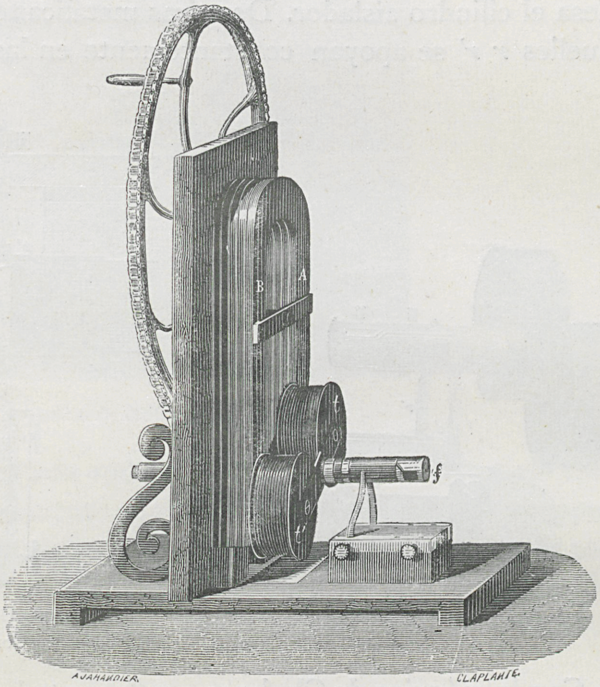


Fig. 208.—Máquina magneto-eléctrica de Clarke

La máquina de Clarke está representada en la figura 208. Se compone de un gran iman A B formado de muchas placas de herradura, sólidamente fijo en una tabla vertical, de modo que presenta sus polos enfrente de dos carretes, cada uno de ellos provisto de un cilindro de hierro dulce. Estos cilindros están unidos, del lado del iman, por una planchuela de cobre, y del opuesto por otra de hierro *t t'*. Como se ve, los dos carretes así preparados no son otra cosa sino un electro-iman, pudiendo girar juntos alrededor de un eje horizontal *f* que pasa entre los brazos del iman y engrana detrás de la tabla vertical con una cadena sin fin y una rueda de manubrio. Cuando se hace funcionar la máquina los dos carretes giran alrededor de su eje comun, y á cada vuelta se presenta cada uno de ellos enfrente de alguno de los polos del iman fijo A B; como los alambres que constituyen sus hélices están enrollados en sentido contrario, uno de ellos es *sinistrorsum* y el otro *dextrorsum*. De aquí resulta que las corrientes inducidas, desarrolladas en cada uno de ellos por la aproximacion de los dos polos contrarios del iman fijo, son del mismo sentido, cambiando á la vez en ambos carretes cuando estos se alejan de los dos polos, de suerte que á cada momento las dos corrientes son directas ó inversas. La imantacion de los cilindros de hierro dulce engendra además corrientes que aumentan la intensidad de la accion inductora. Los dos hilos de los carretes van á parar á un aparato especial llamado *conmutador* y que, segun hemos visto, sirve para conservar á la corriente la misma direccion durante el movimiento, ó para dejar que cambie esta direccion alternativamente á cada media vuelta.

La figura 209 representa dicho conmutador en mayor escala. En la prolongacion del eje de rotacion de los carretes hay un cilindro de una

materia aisladora, á cuya superficie están unidas dos placas metálicas E, E' en forma de semi-virolas. Los espacios que median entre ellas son diametralmente opuestos y están en el plano de los ejes de los dos carretes. Una de las placas E' comunica por la lengüeta *g* con un casquillo *e* y con uno de los cabos del alambre del electro-iman *d d'* en la (fig. 210); la otra placa E con el segundo cabo por medio de un eje metálico interior y un tornillo *v* que atraviesa el cilindro aislador. Dos tiras metálicas ó muelles *r r'* se apoyan constantemente en las semi-virolas y comunican con el circuito exterior. A cada media vuelta y en el momento mismo en que las corrientes inducidas en el carrete cambian de direccion, se invierte la comunicacion de los hilos, por cuanto el muelle *r* que tocaba por ejemplo la virola E' se apoya en la E, del propio modo que *r'* se apoya á su vez en E' La inversion coincide pues con el cambio de direccion de las corrientes inducidas, y por tanto la corriente que pasa al circuito exterior conserva precisamente una direccion constante.

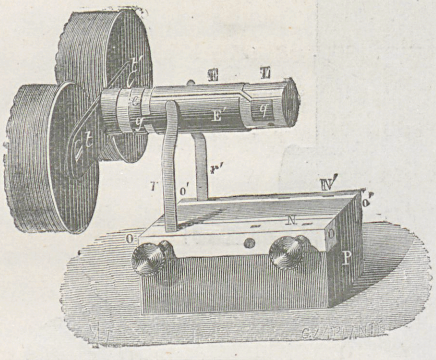


Fig. 209.—Conmutador de la máquina de Clarke

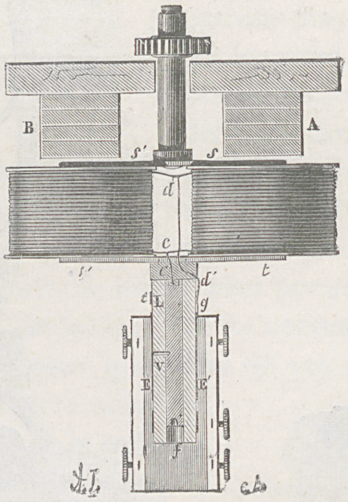


Fig. 210.—Gonmutador Clarke: Corte del eje

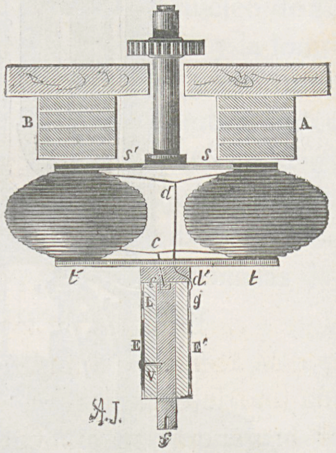


Fig. 211.—Carrete de hilo grueso de la máquina de Clarke

Con la máquina de Clarke se producen todos los efectos de los electromotores ordinarios, pero á un grado de tension muy superior al de las pilas. Merced á ciertas combinaciones, se pueden producir conmociones violentas, ó chispas, ó efectos caloríficos, ó bien descomposiciones químicas. En este último caso, se hace de modo que la direccion de la corriente sea constante; en los demás, por el contrario, se ha de cerrar y romper alternativamente el circuito.

Obtiénense los efectos fisiológicos, que requieren gran tension y para los cuales se usa un carrete de hilos finos y muy largos, con la interrupcion de las corrientes inducidas y la produccion de la extra-corriente, resultado que se logra mediante una disposicion especial dada al conmutador. Entónces se añade un tercer muelle que se apoya contra la placa *q* (figura 209). La persona que desea experimentar la conmocion tiene en la mano los hilos provistos de mangos que pasan de N á N'. Tan luégo como dicho muelle toca la placa, se interrumpe la corriente y cesa de pasar por el cuerpo del experimentador, que presenta gran resistencia. Una conmocion, reforzada por la extra-corriente, es la consecuencia de esta interrupcion que se reproduce á cada vuelta del eje.

Cuando se quieren obtener efectos caloríficos ó luminosos, se emplean dos carretes de alambre grueso y corto, como se ve en la fig. 211.

Hácia el año 1849, Nollet, profesor de física en la escuela militar de Bruselas, trazó el plano, con arreglo á los principios de la máquina de Clarke, de un aparato de induccion que tenía por objeto la produccion industrial de la electricidad; pero Nollet murió sin haber realizado su objeto, y un obrero, que es hoy el ingeniero Van Malderen y á la sazon era colaborador del inventor, fué el que construyó la máquina de Nollet, usada hoy por la compañía *La Alianza* para producir luz eléctrica. Hé aquí sus partes esenciales:

Consta de diez y seis carretes separados á distancias regulares (fig. 212) y fijos en la circunferencia de un rodillo de bronce el cual gira sobre un eje horizontal puesto en movimiento por las correas de un motor cualquiera. El rodillo da vueltas entre dos filas de imanes de herradura, en número de ocho por fila, puestos sobre un armazon circular, de modo que los ocho presentan á la vez sus diez y seis polos, situados á intervalos regulares, enfrente de las

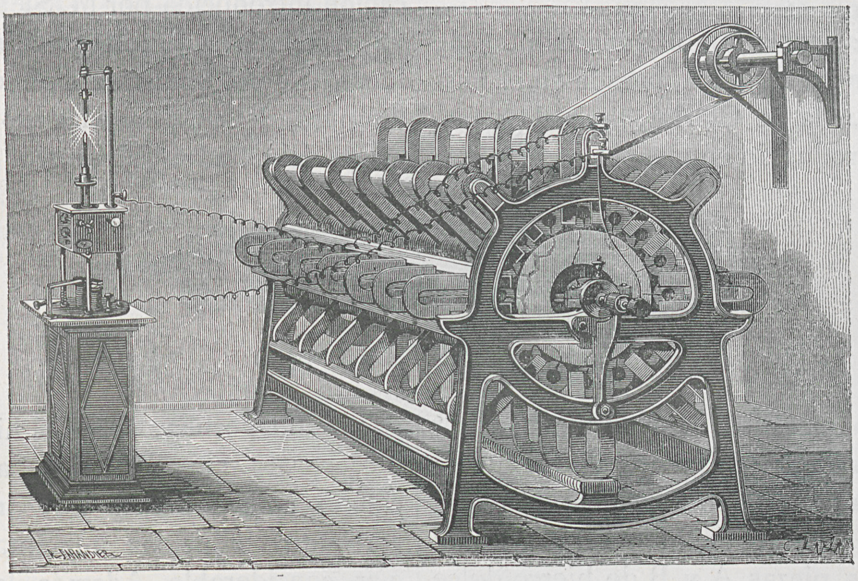


Fig. 212.—Máquina magneto-eléctrica de induccion de Nollet y Van Malderen

armaduras de los polos de los diez y seis carretes, que se acercan ó apartan al mismo tiempo de cada uno de ellos.

Por lo general se aumenta en una misma máquina el número de rodillos, carretes é imanes, estando estos últimos montados paralelamente en la misma armazon, al paso que los rodillos y sus carretes están en el mismo eje. Los extremos de los hilos de estos últimos van sujetos á discos de madera sostenidos en los rodillos, y están reunidos en tension, ó bien en cantidad. Cuando la máquina funciona, cada vez que el movimiento lleva los carretes enfrente de los polos de los imanes, cesan las corrientes inducidas y cambian de direccion: estas corrientes se desarrollan en un sentido cuando los carretes pasan de un polo boreal por ejemplo, y en sentido contrario, si el polo es austral. La corriente inducida conserva la misma direccion entre los dos polos de un mismo iman; su intensidad llega al máximum enfrente de cada polo, es decir en el momento en que se verifica la inversion, y al mínimum entre los dos polos. Con un conmutador se puede lograr que la corriente total conserve la misma direccion.

La figura 212 representa una máquina magneto-eléctrica Nollet y Van Malderen formada de seis rodillos que llevan 96 carretes y por consiguiente 56 imanes fijos. Una máquina de vapor imprime al eje una velocidad de rotacion de 300 á 400 vueltas por minuto, la cual corresponde por lo tanto á 80 ó 100 inversiones de corriente por segundo.

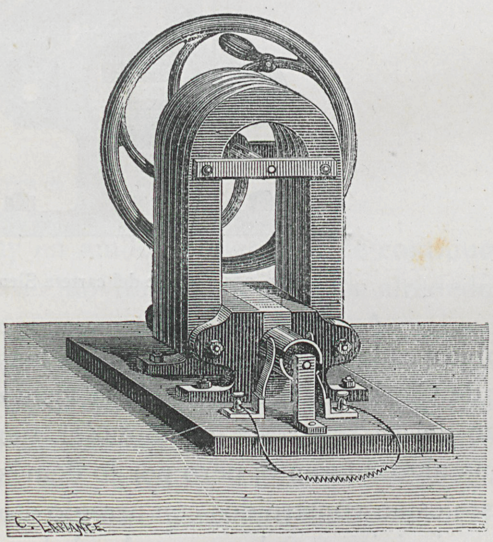


Fig. 213.—Máquina magneto-eléctrica Siemens

La máquina de Meritens tiene poco más ó ménos la misma forma y disposicion que las de la *Alianza*. Se compone tambien de carretes que giran delante de imanes fijos de acero, pero situados de modo que en vez de ponerlos en accion las caras laterales de los imanes, los ponen

las extremas. Con 5 rodillos móviles de 16 carretes cada uno, sólo hay 40 imanes fijos, compuestos de 8 placas de acero. Al ocuparnos del alumbrado eléctrico de los faros, tendremos ocasion de hablar nuevamente de estas máquinas.

El *carrete Siemens* es tambien una máquina de induccion magneto-eléctrica, basada en el mismo principio que la de Clarke; pero el perfeccionamiento introducido en ella por su inventor ha aumentado la potencia del aparato, sin aumentar á la vez gran cosa su volúmen. Las figuras 213 y 214 representan, la primera la vista exterior y la segunda el corte del carrete inducido, viéndose en ambas en qué consiste la modificacion introducida por M. Siemens. El alambre va enrollado en un largo cilindro ó rodillo de hierro *ab*, profundamente ahuecado en toda su longitud, de suerte que las espiras son paralelas al eje del cilindro. El carrete está encajado en

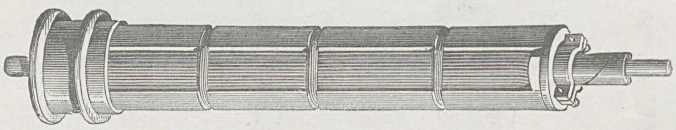


Fig. 214.—Carrete ó bobina Siemens

una guarnicion metálica M N y puede girar rápidamente alrededor de su eje; á cada media vuelta, presenta lateralmente sus polos (que son las partes del cilindro de hierro que quedan desnudas) á las piezas A y B de hierro dulce que forman las armaduras del iman permanente. Este se compone de un haz de imanes de herradura, cuyas regiones polares abarcan el carrete en toda su longitud. Gracias á esta disposicion, en lugar de ejercer los polos del iman su accion peculiar sobre el hilo del carrete en un espacio muy limitado, la ejercen en un campo mucho mayor y la intensidad de las corrientes inducidas aumenta así en proporcion considerable. Además, la estabilidad del aparato, resultante de su forma y de su posicion, permite dar gran rapidez á la rotacion.

La figura 216 representa el conmutador mediante el cual se puede dirigir como se quiere el sentido de las corrientes, el cual

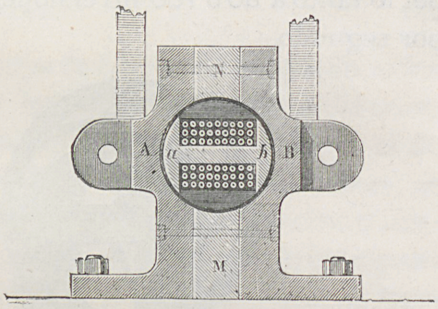


Fig. 215.—Corte del carrete Siemens

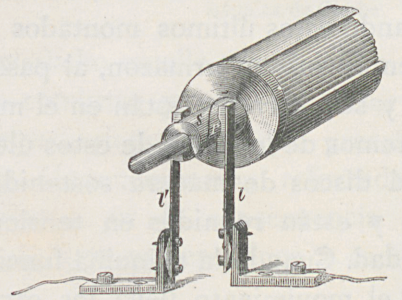


Fig. 216.—Conmutador de la máquina Siemens

cambia á cada media vuelta como en las máquinas de Clarke y de Nollet. En la vista de conjunto del carrete, este conmutador tiene una forma algo diferente; pero por lo demás, aquel y este están construidos con arreglo á los mismos principios que el conmutador de la máquina de Clarke, descrito más arriba, siendo su explicacion la misma.

La máquina de Wilde (fig. 217) no es otra cosa sino la reunion de dos carretes Siemens superpuestos. El carrete menor, que se ve en la parte superior, da corrientes inducidas que, en lugar de utilizarse directamente, pasan al alambre de un electro-iman A B que en el segundo carrete reemplaza al haz de imanes permanentes. M es el iman permanente del primer carrete, *m n* son las armaduras de hierro dulce de sus polos. Las corrientes inducidas, cuya direccion modifica el conmutador, pasan por las bornas ó tornillos de presion *p q* al alambre del electro-iman A B. Las placas de hierro dulce que forman este último, reunidas en su extremo superior por una placa del mismo metal que sirve de soporte al carrete menor, se apoyan por abajo en las armaduras T T que comprenden al carrete mayor en toda su longi-

tud. Este, cuyo diámetro es casi triple del del carrete superior, está inducido por el electro-iman, cuya imantacion es mucho más enérgica que la del iman permanente, siendo la corriente que de ella resulta la que se utiliza exteriormente. Así pues, toda la ventaja de la máquina de Wilde consiste en que el electro-iman recibe con las corrientes inducidas del primer carrete una imantacion más poderosa que la del iman permanente inductor. En cambio, para producir todo su efecto, requiere una velocidad de rotacion considerable, que llega hasta 25 vueltas por segundo para el carrete mayor y 40 para el menor.

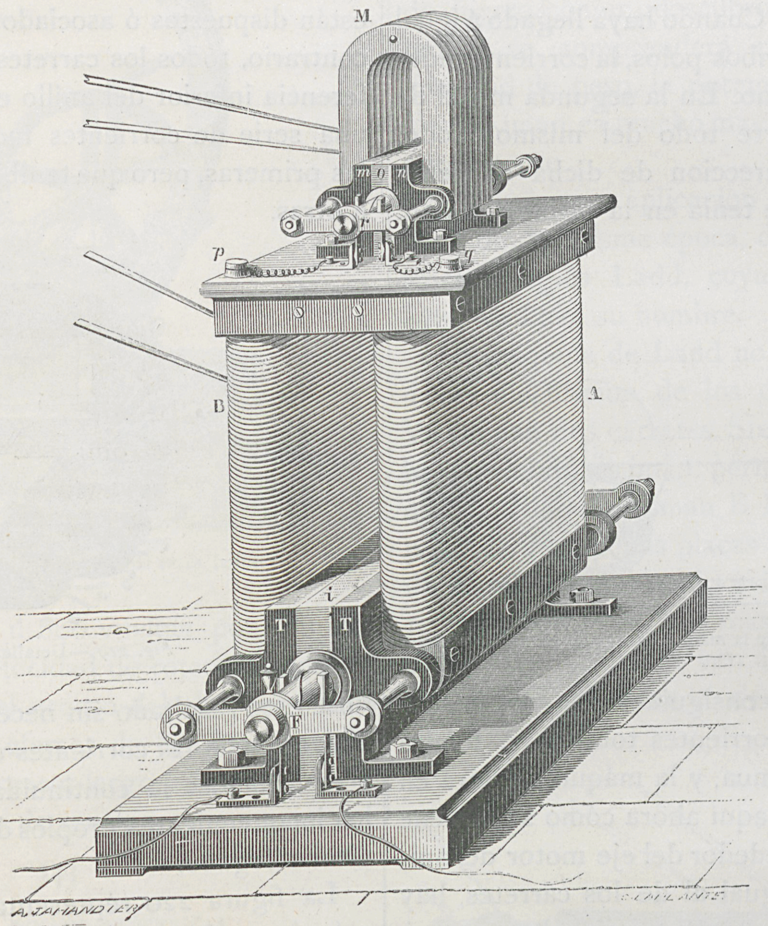


Fig. 217.—Máquina magneto-eléctrica de Wilde

M. Wilde ha construido una máquina triple, en que el segundo carrete inducia á un segundo electro-iman y éste á un tercer carrete. Para ponerla en movimiento, se necesitaba una máquina de vapor de 15 caballos y era tan enérgica que fundia una barra de platino de 6 milímetros de diámetro por 64 centímetros de largo.

M. Gramme, físico y constructor francés, ideó en 1870 una máquina magneto-eléctrica que resuelve prácticamente el problema de la produccion de corrientes de induccion continuas. Véase de qué modo tan ingenioso ha conseguido este objeto:

S N (fig. 218) son los polos del iman inductor de la máquina: entre estas dos regiones polares hay un anillo de hierro dulce continuo que recibe un movimiento de rotacion alrededor de su centro y en su propio plano. A causa de la posicion de sus partes con relacion al iman, el anillo tiene siempre un polo norte desarrollado por influencia enfrente del punto S, y otro sur enfrente del punto N, al paso que en los extremos del diámetro paralelo á los brazos del iman existe una línea neutra. El anillo lleva en su circunferencia carretes cuyos alambres están reunidos de modo que forman un circuito continuo, como si aquellos estuviesen asociados en tension. Consideremos uno de estos carretes, y analicemos lo que sucede á causa de su movimiento de rotacion. Cuando parte del punto medio en que está la línea neutra, y avanza

hácia E' del lado del polo S, se desarrolla en su circuito una corriente inducida cuya intensidad irá en aumento conservando la misma direccion miéntras el carrete marcha hácia S; á partir de este punto y al llegar á E la corriente disminuirá de intensidad, pero sin haber cambiado su direccion, por cuanto el carrete se presentará al polo del iman en situacion diametralmente opuesta. Cuando haya llegado á igual distancia de entrambos polos, la corriente inducida cambia de signo. En la segunda mitad de la revolucion ocurre todo del mismo modo, salvo el que la direccion de dicha corriente es opuesta á la que tenia en la primera mitad.

Ahora, si en lugar de considerar un solo carrete, los consideramos todos en su conjunto, se comprenderá fácilmente que los situados en la semi-circunferencia superior del anillo están recorridos por corrientes de intensidad creciente en un principio, y luégo decreciente, cuyas corrientes se agregan unas á otras, puesto que su direccion es la misma, y los carretes están dispuestos ó asociados en tension. Por el contrario, todos los carretes de la semi-circunferencia inferior del anillo están recorridos por una serie de corrientes inducidas, opuestas á las primeras, pero que tambien se agregan unas á otras.

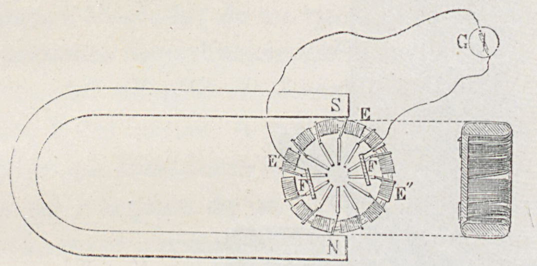


Fig. 218.—Diagrama de la máquina magneto-eléctrica de Gramme

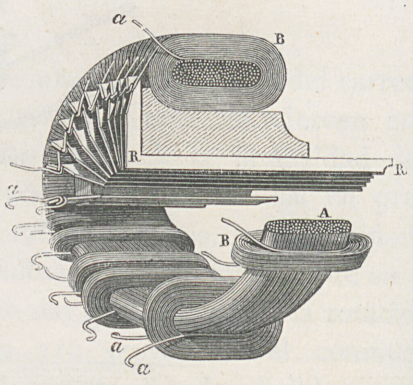


Fig. 219.—Detalles del anillo Gramme

Reuniendo por consiguiente en un mismo circuito estas dos corrientes totales, se tendrá una corriente continua, y la máquina estará en plena funcion. Hé aquí ahora cómo se obtiene este resultado. Alrededor del eje motor del anillo, y en número igual al de los carretes, hay una serie de piezas metálicas, aisladas entre sí, pero empalmadas al extremo del alambre que sale de un carrete y al del que entra en el siguiente. Estas piezas, acodadas en ángulo recto y paralelamente á dicho eje, salen en seguida del plano del anillo y forman una especie de cilindro de escaso diámetro, sin dejar de continuar aisladas entre sí. En dichas piezas R R (fig. 219) se recogen las corrientes. Los colectores consisten en penachos ó pinceles metálicos que forman otros tantos muelles, y se apoyan en las piezas R en el momento de llegar estas al plano de la línea neutra.

En virtud de esta disposicion, las corrientes inducidas en las dos mitades del anillo se reunen en el circuito exterior del mismo modo que las corrientes de dos elementos de pila asociados en superficie ó en cantidad, obteniéndose este resultado sin necesidad de modificar el sentido de las corrientes con un conmutador y realizándose la continuidad sin tropezar con los inconvenientes propios de la adicion de este último órgano.

La figura 220 representa un modelo de la máquina magneto-eléctrica Gramme, en la que se han adoptado los imanes de M. Jamin. Es muy ventajosa como máquina de trabajo, pudiendo manejarse fácilmente con la mano, y prestándose por tanto á muchos experimentos sin necesidad de los preparativos que exige, por ejemplo, el uso de las pilas (1). Se la emplea

(1) Véase en qué términos hace resaltar dichas ventajas M. Niaudet-Breguet, juez competente en el asunto.

«Se construyen máquinas Gramme de tamaño regular que se manejan con la mano y con las cuales se pueden hacer la mayor parte de los experimentos de las cátedras de física, siendo tambien muy útiles en los laboratorios de física ó de química para todos los experimentos que no son de larga duracion, y ahorrando la molestia de tener que montar una pila de Bunsen, operacion que requiere bastante tiempo y de la que por lo comun se desiste cuando se tiene en cuenta que el experimento sólo ha de durar algunos minutos ó quizás unos cuantos segundos. Es inútil decir que con la máquina Gramme se economiza siempre una gran cantidad de ácidos y de zinc, aparte del tiempo que necesitan los ayudantes ó preparadores. Además, en una porcion de investigaciones, conviene saber con exactitud cuál es la fuerza de la

ventajosamente en galvanoplastia y en la práctica de la electricidad médica.

La intensidad de la corriente dada por una máquina Gramme determinada varía con la velocidad de rotacion y crece con ella hasta un

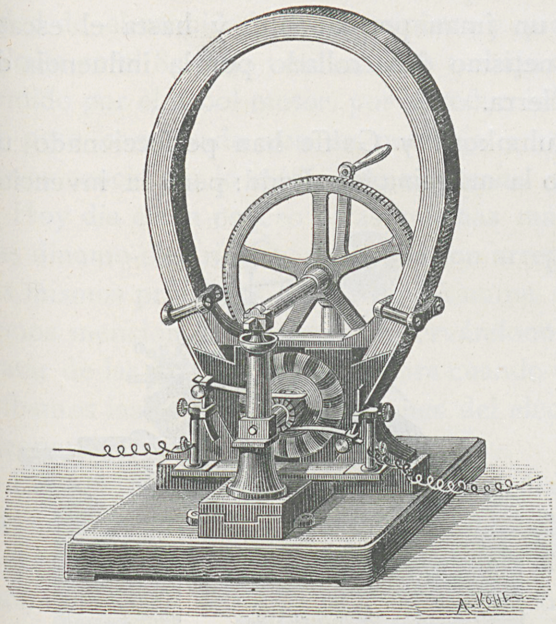


Fig. 220.—Máquina Gramme de iman Jamin

máximum de 700 ú 800 vueltas por minuto; para una misma velocidad de rotacion depende de la longitud y del grueso del alambre de los carretes; para los efectos de cantidad, el hilo debe ser corto y grueso; largo y fino si se quieren obtener efectos de tension.

III

MÁQUINAS DINAMO-ELÉCTRICAS

Todas las máquinas de induccion que hemos descrito hasta ahora tienen por inductor, ya sea la corriente de una pila, como en el carrete de Ruhmkorff, ó bien la fuerza magnética de un iman permanente, segun lo hemos visto en las máquinas magneto-eléctricas de Clarke, Gramme, etc. Las de que vamos á ocuparnos en este artículo tienen por principio la induccion engendrada por la sola influencia del magnetismo remanente del hierro dulce ó por el de la Tierra. En una palabra, un electroiman será el que dé la corriente inductora.

A principio del año 1867, Wheatstone y Siemens concibieron simultáneamente la idea de utilizar para el desarrollo de corrientes electro-magnéticas de energía creciente, gracias al empleo de la fuerza mecánica, la escasa intensidad magnética que reside en un cilindro de hierro comun, descubrimiento cuya importancia se comprenderá recordando que, á igualdad de peso, la potencia inductiva de un electro-iman es mucho mayor que la de un iman permanente.

La primera aplicacion de este principio data de la misma época, debiéndose al constructor inglés Ladd, cuya máquina *dinamo-eléctrica* lleva su nombre.

La máquina de Ladd no es otra cosa, aparte de la disposicion de los órganos, sino la de Wilde con dos carretes Siemens, en la cual se ha suprimido el iman permanente del carrete menor. El electro iman B B′ (fig. 221) se compone de dos anchas placas de hierro rodeadas de alambre y formando así dos electro-imanes rectos y paralelos. Las masas polares de hierro dulce M y N, que se ven á la izquierda, rodean un carrete Siemens *a′* destinado á servir de

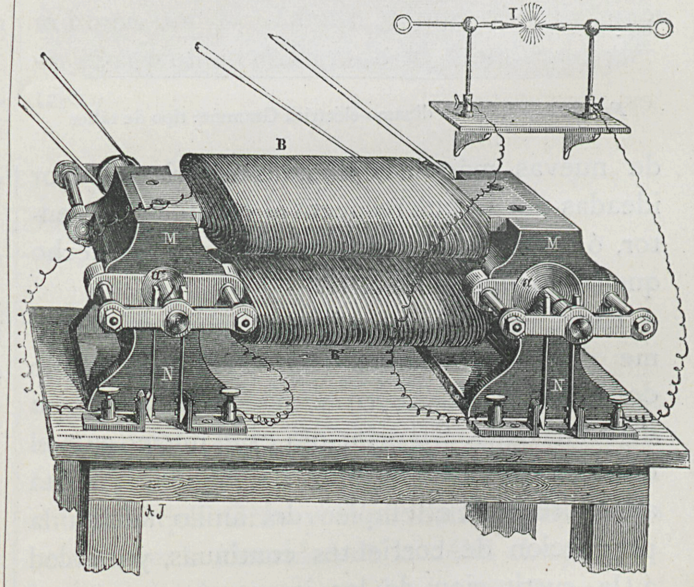


Fig. 221.—Máquina dinamo-eléctrica de Ladd

excitador, enviando las corrientes inducidas que se desarrollan en él á los electro-imanes, cuyo magnetismo mantienen y acrecientan. Estos tienen sus polos de la derecha armados tambien de dos masas polares M y N que

---

corriente en el momento en que produce un fenómeno determinado; y con el aparato en cuestion basta para ello medir exactamente la velocidad en un instante dado, lo cual se hace fácilmente con un diapason cuyas vibraciones se anotan en un platillo que participa del movimiento del anillo.» (*La Nature*, noviembre de 1873.)

La máquina Gramme con imanes Jamin reune, á la ventaja del aumento de energía que resulta del uso de estos imanes, la de la gran facilidad que hay para armar ó desarmar placas, ó para reemplazarlas.

rodean un segundo carrete Siemens *a*, mayor que el primero. Las corrientes inducidas de este segundo carrete son las que van á parar al circuito exterior, produciendo la electricidad que se desea utilizar. Los dos carretes *a* y *a'* están dispuestos de modo que cuando el primero presenta sus partes no ahuecadas á los apéndices polares de los electro-imanes, el otro carrete está en ángulo recto y por consiguiente abandona los apéndices que actúan sobre él. Dos correas, puestas en movimiento por el mismo tambor, lo imprimen á su vez á los dos carretes á un tiempo.

En un principio se valia Siemens de la pila para poner en accion la máquina, pero en breve conoció que no era necesaria, y que bastaba el simple contacto de los cilindros de hierro dulce con un iman permanente, y hasta el escaso magnetismo desarrollado por la influencia de la Tierra.

Ruhmkorff y Gaiffe han perfeccionado un tanto la máquina de Ladd; pero la invencion

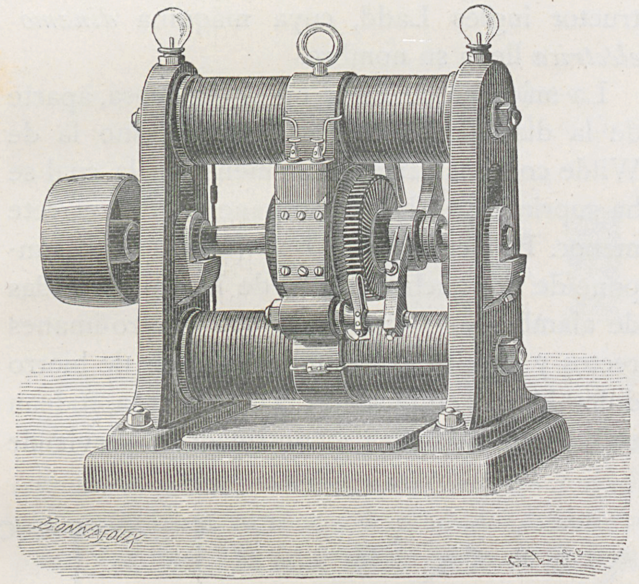


Fig. 222.—Máquina dinamo-eléctrica Gramme: tipo de taller

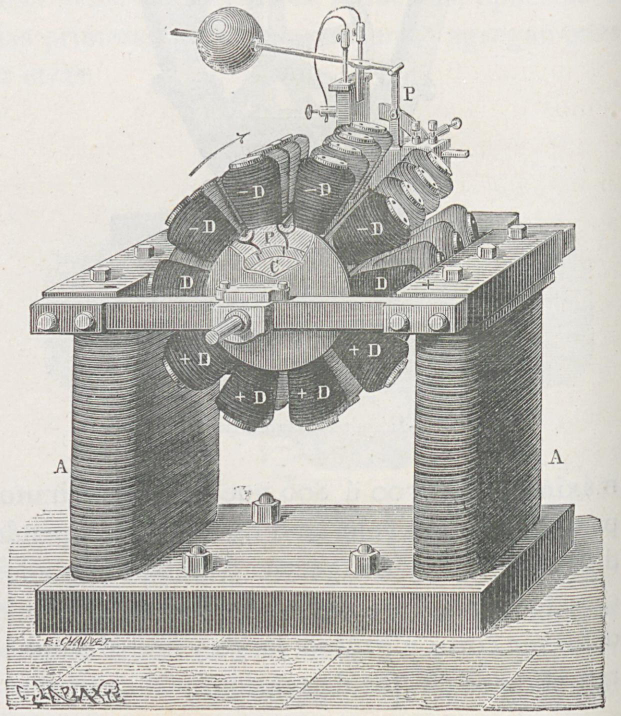


Fig. 223.—Máquina dinamo-eléctrica Lontin

de nuevas máquinas dinamo-eléctricas mejor ideadas por lo que respecta al objeto del inventor, ó sea al de producir luz eléctrica, ha hecho que se abandone.

Entre estos aparatos, las máquinas de Gramme de electro-imanes (fig. 222) han tenido desde su orígen (1870) y siguen teniendo un legítimo éxito. Su principio es el mismo que el de la máquina Gramme de imanes descrita anteriormente; el empleo del anillo facilita la produccion de corrientes continuas, y merced á la sustitucion de los imanes permanentes por electro-imanes realizada ya, segun hemos visto, en las máquinas de Wilde y de Ladd, se ha podido aumentar en alto grado su potencia.

En el tipo representado en la fig. 222, el anillo Gramme gira alrededor de un eje horizontal, puesto en movimiento por una polea movida á su vez por una correa de trasmision. El carrete rueda entre dos piezas de hierro dulce, que son las armaduras de los electro-imanes inductores y que rodean al anillo en los tres cuartos de su circunferencia, obteniéndose así una distribucion mejor del campo magnético y un aumento en los efectos de la induccion. Uno de los dos electro-imanes está situado á la derecha y el otro á la izquierda del anillo, y los carretes de cada uno de ellos en la misma vertical, presentándose uno á otro los polos del mismo nombre cuando la misma corriente los atraviesa. La corriente inducida engendrada en el anillo á consecuencia de su rotacion pasa primeramente por los carretes de los dos electro-imanes, cuya energía magnética refuerzan, luégo por los pinceles colectores que ya hemos descrito y desde estos va al circuito exterior

para utilizarla segun el destino que se dé á la máquina.

El tipo que acabamos de describir, llamado *tipo de taller*, tiene aplicacion á muchos objetos, en una porcion de industrias; es notable por la sencillez de su construccion, por la cantidad de electricidad que suministra y que se calcula en el 85 ó 90 por 100 del trabajo consumido por el árbol motor, por la reduccion de su peso comparado con su potencia y como consecuencia por lo módico de su precio.

Hoy dia están en uso otras muchas máquinas dinamo-eléctricas construidas con arreglo á los mismos principios que la de Gramme. Haremos mencion de algunas, reservándonos el tratar de las más importantes para cuando describamos las múltiples aplicaciones del electromagnetismo.

La máquina Hefner-Alteneck, así llamada del nombre de su inventor, ingeniero de la casa Siemens de Berlin, difiere de la de Gramme por su armadura cilíndrica y por el modo de estar enrollados los hilos del carrete inducido, que no cubren más que la parte exterior del cilindro metálico que reemplaza al anillo; los brazos de los electro-imanes son placas de hierro más anchas que largas, y sus armaduras envuelven por arriba y por abajo el carrete inducido. Los colectores son los de la máquina Gramme.

La máquina de Brush es un anillo Gramme, cuyos carretes en número de ocho ó doce solamente y separados por un intervalo bastante largo, están unidos dos á dos y giran entre los polos de dos electro-imanes de herradura, de forma oblonga y dispuestos de modo que sus polos de igual nombre giran uno enfrente de otro. De esta disposicion resulta que las corrientes inducidas son inversas en las dos mitades del anillo envueltas lateralmente por estos polos, lo cual requiere el empleo de un conmutador y cuatro frotadores.

La figura 223 representa la máquina dinamo-eléctrica de Lontin. Entre los brazos A A de un electro-iman comun que descansa en una pieza de hierro gira un rodillo del mismo metal, llamado por el inventor *piñon magnético*. En este rodillo están alineados en el sentido de las generatrices del cilindro, ú oblicuamente á modo de hélice, varios dientes de hierro, cada uno de los cuales, rodeado de alambres de cobre aislados, forma un carrete ó hélice. Todos estos carretes D D D, en número de 40, reunidos entre sí como los del anillo Gramme, están enlazados con un colector que recoge las corrientes inducidas en las dos mitades del cilindro inducido.

Esta máquina se usa principalmente como excitadora de la de division de luz inventada tambien por M. Lontin y que describiremos en el capítulo consagrado al alumbrado eléctrico.

CAPÍTULO XI

LA LUZ ELECTRICA

I

LA CHISPA ELÉCTRICA

Más de una vez hemos tenido ocasion de consignar que las descargas eléctricas producen luz con mucha frecuencia. Los primeros observadores se ocuparon de las chispas eléctricas que brotan de los cuerpos electrizados al acercar un dedo á su superficie; Otto de Guericke, el doctor Wall, Dufay y Hauksbee iniciaron el estudio de este interesante modo de manifestarse la fuerza eléctrica; Franklin vió cómo se escapaba el flúido de una punta metálica en forma de fulgor ó de penacho; hizo más; descubrió lo que Gray y Wall habian presentido solamente; la identidad de la débil chispa y de la decrepitacion seca que la acompaña con los grandiosos fenómenos del relámpago, el rayo y el trueno. Posteriormente, utilizando Davy la corriente de una pila enérgica, demostró cómo se podia hacer brotar entre dos conos de carbon puestos en los polos la más intensa de las luces artificiales, el arco voltaico.

Todos los efectos luminosos de las descargas eléctricas ofrecen sumo interés; sus variadas apariencias, el estudio de las condiciones en que tienen efecto, son tan dignos de tenerse en cuenta desde un punto de vista puramente científico, como lo son desde el práctico las numerosas aplicaciones de que la luz eléctrica

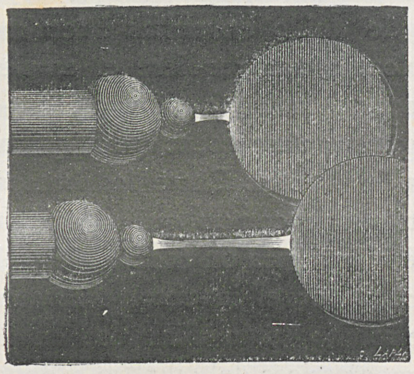


Fig. 224.—Chispa rectilínea

empieza á ser objeto de algunos años á esta parte. Ya hemos descrito algunos de estos efectos con motivo de los curiosos experimentos que se hacen en las cátedras con las máquinas eléctricas, condensadores, etc. Ahora que conocemos ya los más poderosos aparatos productores de corrientes, ha llegado el momento de completar lo que teníamos que decir acerca de la luz eléctrica.

Volvamos al punto de partida, á la *chispa*, que, segun hemos visto, brota siempre que dos cuerpos cargados de electricidades opuestas y á bastante tension, se hallan contiguos, habiendo entre ambos un intervalo no conductor, un medio resistente. Hallándose contrariada por la resistencia del medio no conductor la tendencia que tienen las electricidades contrarias á reunirse para combinarse y reconstituir electricidad neutra, resulta de aquí trasformacion de fuerzas vivas, trasformacion de la electricidad en calor y en luz y por tanto la chispa con todas sus apariencias.

Estas varias apariencias son las que vamos á estudiar ahora, distinguiendo ante todo la *chispa* propiamente dicha del *penacho*, del *fulgor* y de la *descarga oscura*, segun la clasificacion de Faraday.

La *chispa* es esa línea luminosa, ese rastro de fuego que brota entre el conductor electrizado y el disco que se acerca á él y que, conforme hemos visto, debe estar en comunicacion con el suelo. Si es corta, ó si la distancia explosiva es escasa, la chispa tiene una forma rectilínea, siendo muy brillante, de resplandor uniforme y de igual anchura en toda su extension. Esta anchura y este resplandor dependen de la cantidad de electricidad emanada ó de la capacidad eléctrica del conductor. Si la distancia aumenta, la chispa se alarga siendo al principio rectilínea (fig. 224), pero se adelgaza y parece más ancha y luminosa en sus extremos que en medio.

Si la distancia explosiva sigue aumentando y excede, por ejemplo, de 6 ú 8 centímetros, la chispa presenta las más de las veces una forma irregular, ora constituida por trazos rectilíneos continuos y angulosos (fig. 225), ora por ramificaciones sinuosas, serpeantes, que indican que la resistencia experimentada por el flujo eléctrico á su paso de un conductor á otro, está distribuida con mucha desigualdad.

El color de la luz de las chispas es blanco plateado en el aire atmosférico y á una presion normal, viéndose en sus extremos una ligera tinta purpúrea; color que varía con la presion

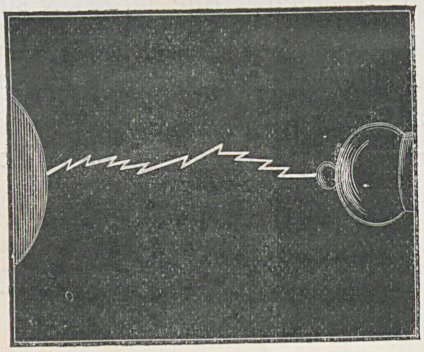


Fig. 225.—Chispa angulosa

y tambien con la naturaleza de los gases en que se produce; en breve presentaremos ejemplos de estas modificaciones.

II

EL PENACHO ELÉCTRICO

A medida que se aumenta la distancia á que se efectúa la descarga, la chispa adquiere una apariencia más complicada; el trazo de fuego se ramifica más y más, debilitándose en el extremo más distante del conductor y acaban-

do por trasformarse en un *penacho.* Por lo comun consiste este en un rastro brillante, del cual parten numerosos filetes divergentes de color amoratado, y acompañado de un zumbido semejante al de un chorro de vapor. La figura 226 representa un penacho luminoso observado por Van Marum. Entre el platillo y el penacho hay unas veces un espacio oscuro, y otras una masa de luz mucho más compacta, que teniendo su base en el borde del disco, va á reunirse con el extremo del penacho. Aquí suponemos que el conductor está cargado de electricidad positiva, en cuyo caso, el disco electrizado por influencia, lo está á su vez de electricidad negativa. Si sucediese lo contrario, el penacho de anchas ramificaciones se escaparia del disco, y el estrecho, del conductor. Faraday, que ha estudiado las formas de los penachos positivos y negativos, ha demostrado que esta diferencia consiste en la desigual

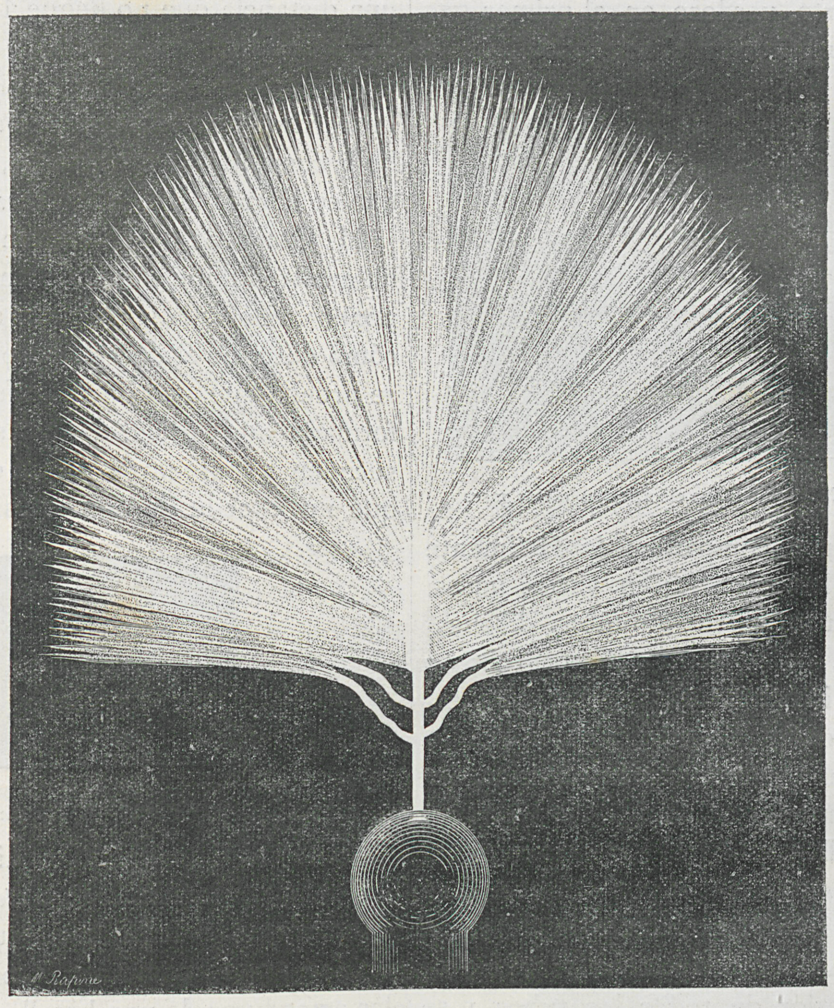


Fig. 226.—Penacho eléctrico

tension de las dos electricidades cuando ocurre la descarga. La electricidad negativa requiere, para que esta se verifique, una tension mucho menor que la positiva.

Se puede producir la luz eléctrica en diferentes medios, en el aire y en los demás gases, y hasta en los líquidos malos conductores; sus apariencias, es decir, su forma y su color cambian segun sean estos medios; y cuando la descarga ocurre en un gas, varían con la presion ó con el grado de enrarecimiento de dicho gas.

Hemos dicho que la chispa tiene un color blanco brillante en el aire á la presion ordinaria. Segun Van Marum, que ha hecho muchos experimentos sobre este asunto, su color es azulado, teñido de púrpura, en el nitrógeno, muy blanco en el oxígeno, rojo morado en el hidrógeno, verdoso en el ácido carbónico, verde-rojizo en el gas hidrógeno carbonado y blanco en el ácido clorhídrico.

El tronco de los penachos luminosos positivos tiene en el aire, á la presion ordinaria, un color violeta teñido de púrpura, al paso que

sus ramificaciones son más blancas, lo cual tal vez consiste en que la luz está ménos condensada en ellas. En los otros gases varía el color de los penachos, como lo han hecho ver los experimentos de Faraday; así por ejemplo, en el hidrógeno y en el gas del alumbrado es ligeramente verdoso; en el oxígeno, blanco como el aire, pero mucho ménos bello; en el nitrógeno enrarecido es, por el contrario, magnífico; en el óxido de carbono y en el ácido carbónico el penacho es corto, verdoso en el primer gas y ligeramente purpúreo en el segundo.

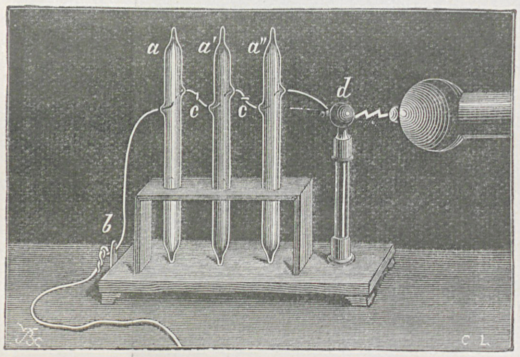


Fig. 227.—Colores de la luz eléctrica en varios gases

Para observar y comparar más fácilmente los colores de la luz eléctrica en varios gases, se puede emplear una serie de tubos dispuestos como los de la figura 227. Estos tubos *a a' a''*, llenos préviamente de los gases en cuestion, están cruzados por hilos de platino que los unen eléctricamente por su parte exterior, dejando entre sí, en el interior del tubo, un pequeño espacio. Por una parte se empalma el hilo á una bola aislada *d*, y por otra, en *b*, se le lleva á tierra. Apénas se acerca la bola á la máquina eléctrica, brota la chispa simultáneamente en el interior de todos los tubos, y se puede observar de una sola ojeada el color de los rastros de fuego en los diferentes gases.

Cuando se hace uso de las máquinas de electricidad estática se pueden observar estas distintas formas de la luz eléctrica, chispa, fulgor ó penacho; pero con el carrete de induccion se las produce simultáneamente. Para efectuar el experimento, se emplea un carrete bastante poderoso para dar chispas de 20 centímetros de longitud. Empálmase el electrodo positivo á una varilla del excitador, terminada en punta, y el negativo á la otra varilla que tiene en su extremo un disco metálico de 15 centímetros de diámetro. A una distancia conveniente se ve un fulgor alrededor de la punta positiva; el rastro de fuego brota con sus sinuosidades ó ramificaciones entre la punta y el disco, y por último, un penacho débilmente luminoso en forma de cono envuelve la chispa y cubre gran parte del disco.

Si se acercan los polos, el penacho se comprime, la chispa aumenta en brillo y en grosor, y acaba por dividirse en muchas ramas. En una distancia que no llegue á 2 centímetros, el trazo de fuego es sencillo y está rodeado de una aureola más extensa y brillante, como si los numerosos rastros luminosos se hubieran reunido y condensado en uno solo, constituyendo lo que se llama una *chispa compuesta* (figura 228).

M. Cazin, de quien tomamos estos detalles, ha mostrado que se puede analizar ó descomponer una chispa simple en apariencia. Véase cómo describe el experimento mediante el cual se prueba que esta línea de fuego á veces está formada en realidad de líneas brillantes que se suceden á centenares en un espacio de tiempo que no excede de un centésimo de segundo:

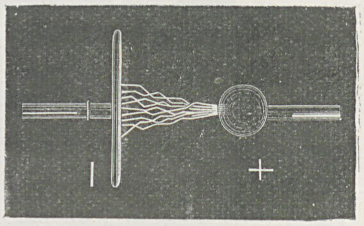


Fig. 228.—Chispa compuesta

«Tenemos un ejemplo, dice, de esta clase de chispa, llamada *compuesta*, en la descarga del carrete de Ruhmkorff, cuyos polos están unidos por hilos metálicos, por una parte con las armaduras de una botella de Leyden, y por otra con dos bolas metálicas entre las cuales brota la chispa y cuya distancia no llega á un milímetro. Una lente convergente recibe los rayos luminosos partidos de la chispa y los dirige en haz paralelo al borde de un disco de carton que gira rápidamente alrededor de su centro (*fenakisticopio*). El aparato está instalado en una cámara oscura, y se mira con un anteojo por la abertura del diafragma.

«Cuando estalla una chispa *simple* en el foco luminoso, no se ve en el anteojo más que una hendidura del disco giratorio; pero cuando es *compuesta*, se divisa la hendidura móvil, que

pasa por detrás de la abertura, en las diferentes posiciones que ocupa en el momento en que brotan los filetes luminosos que componen la chispa. Entónces se ven muchos rasgos brillantes cuyo número es el de las chispas simples

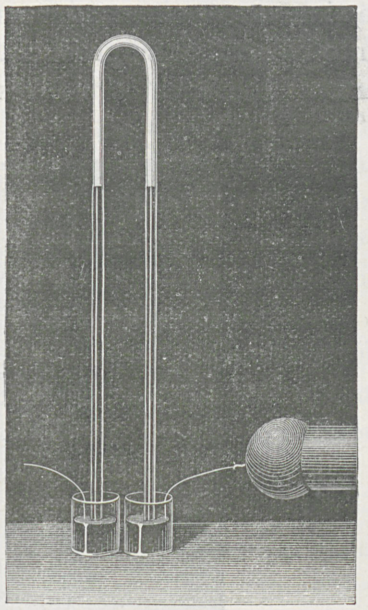


Fig. 229.—Fulgor eléctrico en el vacío barométrico

que brotan miéntras una hendidura del disco giratorio atraviesa el campo del anteojo. Cuando el número de filetes luminosos es considerable, no se los puede contar del modo que dejamos indicado; pero entónces se hace pasar la hendidura por delante del diafragma por espacio de un tiempo inferior á la duracion de la chispa total, y se aumenta la rapidez del disco hasta que se divisa en el anteojo un corto número de trazos brillantes, equidistantes, pudiéndose tener la seguridad de que los filetes luminosos se suceden á espacios de tiempos iguales y siendo posible calcular el número de dichos filetes.

«Con un disco de 180 ranuras que daba 33 vueltas por segundo, se han contado en un experimento de esta clase 6 trazos brillantes, equidistantes. Dedúcese de aquí que se sucedian 6 trazos luminosos en un espacio de tiempo igual á la fraccion de segundo $\frac{1}{33 \times 180}$ Por otra parte resultaba que la duracion total de la chispa compuesta era de 0'015. Cuantas veces está contenida la fraccion precedente en este número, otras tantas se repiten sucesivamente los 6 filetes luminosos en la chispa, lo cual da un total de 537 chispas simples en la compuesta que se observaba.

III

LA LUZ ELÉCTRICA EN LOS GASES ENRARECIDOS

Hasta ahora sólo hemos tratado de la luz producida por la descarga eléctrica en el aire, ó en cualquier otro gas, á la presion ordinaria. Los fenómenos luminosos que vamos á estudiar ahora son los que ocurren en el vacío ó en los medios gaseosos más ó ménos enrarecidos.

Cuando se hace el vacío en un tubo que tenga en su parte superior un embudo con mercurio sostenido por una rodaja de madera cortada en sentido perpendicular á sus fibras, la presion precipita al líquido al través de los poros de la madera, y da lugar al fenómeno conocido en las cátedras con el nombre de *lluvia de mercurio*. Las gotitas brillantes del metal líquido se electrizan en su caida rozando unas con otras y se ve un resplandor bastante vivo si se opera en la oscuridad. Hacia mucho tiempo que se habia observado la produccion de tales resplandores en el vacío barométrico, cuando se desnivela bruscamente el mercurio, hasta que Hauksbee hizo muchos y muy curiosos experimentos sobre los efectos de luz originados en tubos ó globos de cristal, en cuyo interior se ha hecho el vacío. El interior de estos aparatos se llenaba de un hermoso fulgor purpúreo, ya haciendo frotar en el vacío dos cuerpos como

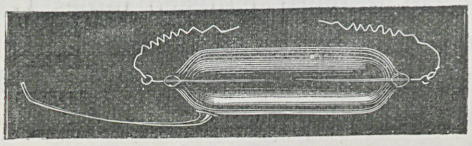


Fig. 230.—Carencia de chispa en el vacío. Tubo de Alvergniat

el vidrio y la lana, ó ya dando vueltas al globo con rapidez y apoyando la mano en su superficie exterior. Esta luz era sin duda efecto de la electricidad desarrollada.

Más adelante Cavendish y luégo Davy hicieron experimentos sobre el desarrollo de la luz eléctrica en el vacío barométrico y sobre la influencia que la temperatura ejerce en la vivacidad de esta luz. El aparato de la fig. 229 consiste en un tubo curvo, que contiene una columna de mercurio en cada brazo, penetrando

estos en dos cubetas aisladas. Se pone el mercurio de una de estas en comunicacion con tierra por medio de un alambre y el otro con el conductor de una máquina eléctrica. Tan luégo como esta funciona y la electricidad pasa de una cubeta á otra por el espacio vacío entre ámbas columnas, se ve un débil fulgor en este espacio. Davy calentó el mercurio y vió que el fulgor adquiria más brillo y cierto tinte verdoso, que pasó al azul, luégo al púrpura, á causa de la introduccion de algunas burbujas de aire. Davy creyó poder deducir de estos experimentos que el escaso resplandor observado en el vacío barométrico á la temperatura ordinaria dependia del vapor del mercurio, por cuanto la luz era más intensa á mayor temperatura, es decir, cuanto más vapor se producia.

Pero estos experimentos no resolvian la

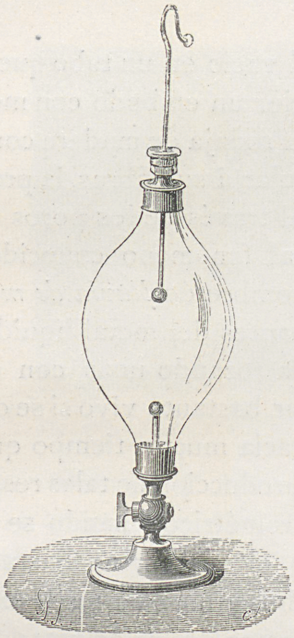


Fig. 231.—Huevo eléctrico

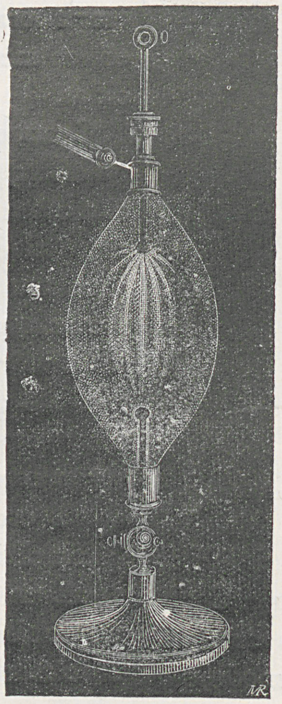


Fig. 232.—Luz eléctrica en el aire enrarecido. Bandas purpúreas

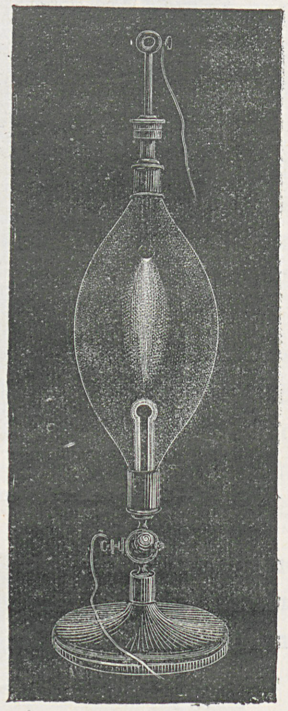


Fig. 233.—Chorro luminoso en el aire enrarecido. Descarga de las corrientes de induccion

cuestion de saber si la luz eléctrica se produce en el vacío absoluto. El físico inglés Gassiot, que ha hecho interesantes experimentos sobre la luz eléctrica en los gases enrarecidos, ha demostrado que, en un vacío suficiente, la descarga eléctrica no produce luz. Véase, segun M. Cazin, cómo ha reproducido Alvergniat en Paris el experimento de Gassiot:

«Se sueldan dos hilos de platino á los extremos de un tubo de vidrio poco fusible, dejando entre ellos un intervalo de uno ó dos milímetros. Este tubo está provisto de otro tubito lateral que va tambien soldado al conducto de una máquina neumática de mercurio (fig. 230). Una vez hecho el vacío, se calienta al rojo oscuro el tubo de vidrio y se hace funcionar muchas veces la máquina neumática, para expulsar todo vestigio de aire ó de vapor adherido á las paredes interiores del tubo y á los hilos de platino. Si despues de una hora de manipulacion se adaptan á los hilos de platino los conductores de un carrete de induccion, no se ve ya brotar chispa alguna entre aquellos. Sepárase entónces el tubo de la máquina neumática, adelgazando al soplete el tubo lateral, y el aparato, herméticamente cerrado por la fusion de la parte adelgazada, sirve para repetir indefinidamente el experimento.»

Para estudiar los efectos luminosos que produce la descarga eléctrica en los medios gaseosos enrarecidos, se hace uso del aparato representado en la figura 231, al cual se da el nombre de *huevo eléctrico*. Este aparato tiene, como se ve, dos varillas metálicas, cada una de ellas terminada en una bola y que comunican con las guarniciones, metálicas tambien del

huevo, pudiéndoselas acercar ó separar como se quiera. Se puede desprender el huevo de su pié y atornillarlo á la máquina neumática, enrareciendo el aire contenido en él, haciendo el vacío, é introduciendo luégo un gas á cualquier presion.

En el aire á la presion ordinaria, la chispa brota entre las dos bolas, parecida á la que hemos descrito al empezar. Mas á medida que se enrarece el aire, la luz cambia de aspecto; sale en forma de haz ramificado de la bola positiva; á una presion de 60 milímetros, presenta la apariencia que se ve en la fig. 232, componiéndose de cierto número de fajas luminosas de color de púrpura, de las cuales, unas divergen lateralmente, otras se acercan á la bola negativa, la cual está rodeada á su vez de una densa capa de luz morada. Cuando la presion se reduce á algunos milímetros, las fajas se reunen á modo de haz luminoso y fusiforme.

Veamos ahora lo que sucede cuando se sustituye la electricidad de las máquinas eléctricas ordinarias por las corrientes de induccion.

Enrarezcamos el aire contenido en el huevo eléctrico á 2 ó 3 milímetros de presion, y pongamos las bolas interiores en comunicacion con los polos de un carrete de Ruhmkorff. Al punto veremos brotar de la bola positiva un magnífico haz luminoso, de hermoso color encarnado, miéntras que la bola y la varilla negativas aparecerán rodeadas de una capa de luz purpúrea azulada. Si se cambia la direccion de la corriente con el conmutador, las dos luces cambiarán tambien de posicion, el haz partirá entónces de la bola inferior, y la aureola morada rodeará á la superior.

IV

ESTRATIFICACIONES DE LA LUZ ELÉCTRICA

Si ántes de enrarecer el aire se han introducido en el huevo vapores de muchas sustancias, como de alcohol, de fósforo, de esencia de trementina, etc., el haz luminoso toma un aspecto particular que ha sido descubierto casi al mismo tiempo por Ruhmkorff, Grove y Quet. La luz roja aparece interrumpida trasversalmente por bandas oscuras, muy juntas, de modo que está formada alternativamente de estratos oscuros y estratos brillantes. A partir del centro del haz, en donde los estratos son rectilíneos, se encorvan en dos sentidos opuestos, de modo que su concavidad mira á cada una de las bolas. A este fenómeno se ha dado el nombre de *estratificacion de la luz eléctrica*.

Posteriormente se ha dado distintas formas á las vasijas que contienen los vapores enrarecidos, propios para producir la luz eléctrica estratificada, siendo de los aparatos principales los conocidos con el nombre de *tubos de Geissler*.

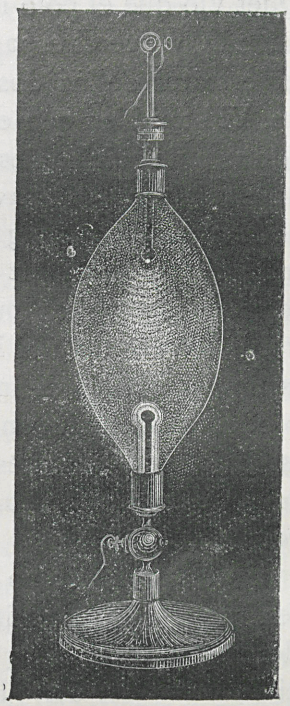


Fig. 234.—Luz estratificada en un gas enrarecido

El brillante fenómeno de que nos ocupamos fué observado por vez primera por M. Abria, en 1843. Habiendo operado este físico la descarga de un carrete de induccion en un tubo que contenia aire á dos milímetros de presion, vió un penacho que partia del polo positivo y que no llegaba enteramente al negativo, del cual quedaba separado por un espacio oscuro (la *descarga oscura* de Faraday). Presentaba además en su parte superior, es decir, en la más inmediata á la punta negativa, zonas alternativamente luminosas y oscuras. Grove en Inglaterra y Quet en Francia estudiaron casi simultáneamente hácia 1852 estos estratos, que despues han sido objeto de interesantes investigaciones por parte de muchos físicos.

Habiendo observado M. Quet que las bandas brillantes parecian animadas á veces de un movimiento ondulatorio y progresivo, ó giratorio, averiguó que esto no era efecto de una ilusion debida á que el sitio de las zonas brillantes varía de continuo á causa de la discontinuidad de las descargas. En realidad, la luz es completamente discontinua, estratificada, es decir, está formada de fajas brillantes marcadamente separadas por otras oscuras. Para dar al fenómeno todo su brillo, M. Quet mezclaba con el aire del huevo eléctrico, ántes de hacer el vacío, algun vapor, como el de esencia de

trementina, aceite de nafta, alcohol, sulfuro de carbono, y tambien fluoruro de silicio. De este modo obtuvo magníficos efectos de luz estratificada con los vapores metálicos, y en especial con el de sodio.

Las luces de los dos polos se estratifican. Acercando entre sí las bolas del recipiente, Quet vió que el polo negativo era el único iluminado, y que el espacio oscuro que separaba los estratos de los dos polos invadia el positivo. Vió tambien que en el vacío hecho en el fluoruro de silicio, desaparecia la luz morada de este último polo, avivándose al propio tiempo la amarilla del negativo; y que aproximando más los polos, la luz negativa se debilitaba, formándose anillos purpúreos en la bola posiva. M. Warren de la Rue ha comprobado que cualquier cambio de intensidad en la corriente, produce á menudo una modificacion completa en los colores de las estrías; por ejemplo, en un tubo de hidrógeno, pasan del azul cobalto al rosa.

En un principio no se habian observado los fenómenos de estratificacion más que en las descargas producidas con corrientes de induccion, pero Van der Villingen los obtuvo con la botella de Leyden, sólo que era preciso interponer una resistencia conveniente en el trayecto de la corriente, por ejemplo una cuerda mojada. Quet y Seguin obtuvieron el mismo resultado debilitando la carga de la botella; y cubriendo la superficie exterior de un tubo de Geissler con un papel de estaño, trasformándolo así en condensador, y haciéndolo comunicar con el suelo, produjeron en el tubo una verdadera oleada de luz estratificada, mediante la descarga de una máquina de disco de vidrio. Finalmente, valiéndose Gassiot de una pila de agua de 3520 elementos aislados, ó de una de 400 elementos Grove, obtuvo estratificaciones en un tubo de ácido carbónico enrarecido.

Se han formulado varias hipótesis para explicar el fenómeno de las estratificaciones. Grove considera las chispas de un carrete de induccion como si estuviesen formadas de una sucesion rápida de descargas parciales, y las estratificaciones como el resultado de una especie de interferencia entre estas descargas sucesivas y contrarias, estableciendo así una analogía entre estos fenómenos y las bandas de interferencia de las ondas luminosas ó sonoras. Pero, segun lo hace observar M. Mascart, «no es fácil concebir cómo pueden resultar interferencias entre dos sistemas de descargas no simultáneas, sino alternadas, y si estas dos corrientes intervienen en el fenómeno, el mecanismo de la produccion de los estratos no debe tener ninguna analogía con las interferencias de la luz y del sonido.»

Otros físicos, como Gaugain y Reitlinger, suponen que las estrías son efecto de acciones químicas, combustion, combinaciones y descomposiciones simultáneas. Para de la Rive «el fenómeno consiste en contracciones y dilataciones alternativas de los medios gaseosos, producidos por la serie de descargas más ó ménos discordantes, que forman el chorro eléctrico.» De este modo las estratificaciones serán un fenómeno análogo al de las ondas sonoras. Esta hipótesis es algo parecida á la de Grove y tambien á la de Gassiot. «¿No podrian ser las bandas negras, dice este último, nodos de ondulaciones engendradas por impulsos semejantes procedentes de descargas positivas y negativas? Las estratificaciones luminosas que obtenemos en el circuito cerrado del hilo secundario de un carrete de induccion y en el de una pila voltaica, ¿no serán la imágen de las pulsaciones que pasan á lo largo del hilo del carrete en el primer caso, y al través de la pila en el segundo, pulsaciones producidas probablemente por la accion de la descarga en toda la extension de los hilos?»

Mencionemos por último la explicacion que Quet y Seguin dan del fenómeno, explicacion basada en el modo de propagacion de la electricidad, cuya propagacion no se efectúa en virtud de un movimiento de trasporte del flúido, sino, en concepto de dichos físicos, por el movimiento de las descomposiciones y recomposiciones sucesivas. El ejemplo del fenómeno de los tubos centelleantes les sirve de término de comparacion. «Cuando la electricidad llega á los conductores metálicos del huevo eléctrico, la columna de gas enrarecido se divide en capas sucesivas, haciendo unas las veces de las laminillas metálicas de un tubo centelleante, y otras las de las láminas de aire en que estallan las chispas de dichos tubos. En las primeras

capas, los dos flúidos eléctricos desarrollados en ellas por influencia, tienden á dirigirse, uno al lado de la bola positiva, y otro al lado opuesto. Las moléculas movibles del gas reciben así movimientos contrarios que enrarecen dichas capas y condensan las otras. Estas últimas, que separan las electricidades opuestas, se calientan é iluminan cuando sobreviene la descarga, al paso que las capas enrarecidas, y por consiguiente más conductoras, permanecen oscuras. Quet y Seguin han logrado explicar con esta teoría todas las circunstancias que presenta la estratificacion de la luz eléctrica. Pero por otra parte, han podido imitar este fenómeno de varios modos: por ejemplo, despues de espolvorear con carbon el espacio contiguo á los hilos de descarga, han hecho pasar por el aire la chispa de induccion y visto que ésta se estratificaba trasversalmente, adquiriendo considerable longitud y asemejándose á un largo rosario de cuentas luminosas. Produjose tambien este efecto en una llama fuliginosa y hasta en la parte oscura de la de una bujía. En la punta de una llama de esencia de trementina reemplazan á los puntos brillantes pequeñas llamas muy claras y distintas.

V

EL ARCO VOLTAICO

Las pilas son generatrices de electricidad á baja tension, no siendo por tanto de extrañar que al separar los reóforos de una pila en accion, no brote chispa alguna, ó si acaso muy débil; á la cual se da el nombre de *chispa de rotura*. Pero si se hace uso de una pila muy enérgica, compuesta de muchos elementos, y si en vez de cerrar el circuito poniendo los hilos en contacto, se deja un pequeño espacio entre sus extremos, saltan chispas muy seguidas, que llegan á formar una luz continua si en los cabos de los hilos hay dos conos de carbon. Esta luz *continua es* lo que se llama *arco voltaico* (1). Davy obtuvo con una pila de 2000 pares, cada uno de los cuales tenia 4 decímetros cuadrados de superficie, una luz deslumbradora que brotaba sin interrupcion entre las dos puntas de carbon. Este intervalo no era en un principio más que de medio milímetro; mas, despues de producida la luz, pudo separar los carbones hasta 11 centímetros. Entónces vió dicho físico un fenómeno bellísimo. La luz eléctrica se extendia entre los dos electrodos en forma de arco convexo en su parte superior, y de brillo tan intenso, que apénas lo podia soportar la vista. La longitud del arco es mayor en el vacío que en el aire. Posteriormente se ha hecho más fácil la produccion del arco voltáico gracias á los aparatos de induccion que hemos descrito en el capítulo anterior, y tambien á la sustitucion del carbon calcinado, como lo usaba Davy, por el de retorta (2).

El arco desarrolla un calor sumamente intenso: los metales se funden en él como la cera en la llama de una lámpara. Despretz ha fundido y volatilizado los cuerpos más refractarios, primero con una pila de 600 elementos, y luégo con los aparatos de induccion. Los óxidos de zinc y de hierro, la cal, la magnesia y la alúmina quedaron reducidos á glóbulos; el grafito volatizado depositó en los electrodos un polvillo que, examinado con el microscopio, se vió que estaba formado de diminutos cristales de forma octaédrica, y con el cual se pudo bruñir diamantes, de donde se ha sacado la consecuencia de que el grafito que, así como el diamante, es carbono puro, se habia cristalizado por efecto del calor intenso del arco, y trasformado en pequeñísimos diamantes.

Acabamos de ver que, para producir el arco luminoso, se deben colocar las puntas de carbon muy cerca una de otra; mas, tan luégo como la corriente ha vencido la resistencia del aire interpuesto y producido la luz, se pueden separar los conos: operando Davy en el aire enrarecido, ha hecho brotar con su poderosa pila de 2000 pares una luz de 18 centímetros de longitud. La intensidad luminosa del arco voltaico es tan grande que apénas se puede

(1) La denominacion de *arco voltaico* reconoce por causa el que en un principio se ponian los carbones en línea horizontal, y el movimiento ascendente de las capas de aire caldeadas encorvaba la línea luminosa que brotaba entre los electrodos; y áun cuando dicha línea no se encorva si se ponen los carbones verticalmente, se ha seguido usando la denominacion primitiva por más que no la justifique ya la apariencia del fenómeno.

(2) Davy usaba barritas de carbon vegetal apagadas en agua ó en azogue. Foucault introdujo el uso del carbon de las retortas de gas, que es más denso, más homogéneo y más resistente: le cortaba en barras prismáticas de 2 ó 3 milímetros de lado. Despues se ha procurado purificar este carbon, y tambien reemplazarle con varias combinaciones ó mezclas. Más adelante hablaremos de las sustancias adoptadas por los inventores de los varios sistemas de alumbrado eléctrico.

soportar su brillo. Segun los experimentos comparativos hechos por Fizeau y Foucault, esta intensidad es casi cincuenta veces la de la luz Drummond, es decir, de la vivísima luz que resulta dirigiendo una corriente inflamada de gas oxihidrógeno sobre un pedazo de cal: la luz solar es únicamente tres veces más intensa que la del arco voltaico. Los referidos físicos operaban con una pila Bunsen de 92 elementos, dispuestos en dos series. Por supuesto que aquí sólo tratamos del brillo intrínseco. Cuando nos ocupemos de las aplicaciones de la luz eléctrica al alumbrado, veremos cuál es el poder lumínico del arco voltaico.

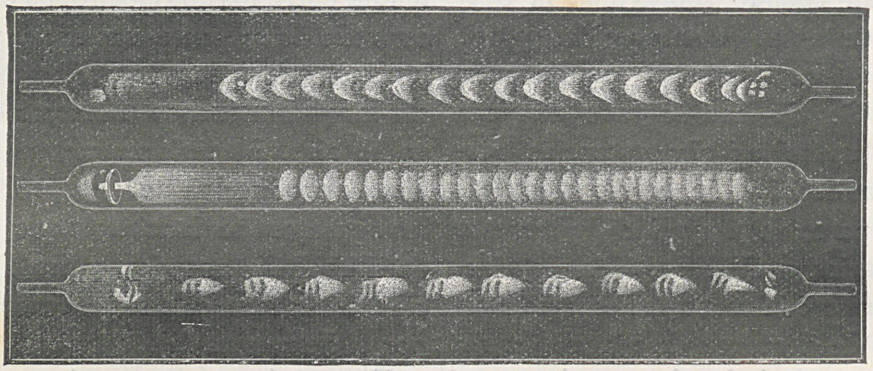


Fig. 235.—Estrías observadas por Warren de la Rue en los tubos de gases enrarecidos

La longitud del arco depende del número de elementos de la pila y de su disposicion. Habiendo empleado Despretz pilas de 50, 100, 200 y 600 pares, la longitud del arco fué creciendo primeramente en la proporcion de 1 á 4; pero esta proporcion no continuó; el arco dado por 200 pares, apénas era triple que el de 100, y el de 600 era solamente de siete á ocho veces más largo.

Estudiando este interesante fenómeno se ha reconocido que la corriente eléctrica que pasa sin interrupcion entre los dos conos, arrastra de uno á otro partículas de carbon muy tenues, y con más abundancia del polo positivo al negativo, de suerte que los carbones no se gastan por igual, aumentando por consiguiente el negativo á expensas del otro. La figura 237

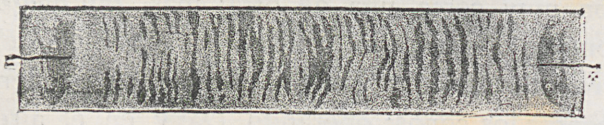


Fig. 236.—Estratificacion de la chispa de induccion en el polvo de carbon

representa dos conos vistos en proyeccion y ampliados. Hé aquí como se expresaba M. Le Roux en una conferencia sobre la aplicacion de la electricidad á los faros:

«Para examinar directamente lo que ocurre en el arco voltaico, seria preciso tomar grandes precauciones á fin de preservar el órgano de la vista de la considerable intensidad de la luz; pero esta misma intensidad servirá para que mi auditorio pueda contemplar los menores detalles de la superficie de los carbones. Basta interponer entre ellos y esta pantalla una lente de foco adecuado, con lo cual se verá la imágen de los carbones agrandada un centenar de veces y se podrá juzgar sin esfuerzo del conjunto del fenómeno. Aquí tenemos unos carbones entre los cuales pasa la corriente continua de una pila de Bunsen; veis que uno de ellos aumenta á costa del otro; el que se desgasta más es el positivo, ó sea el que comunica con el carbon de la pila; es ménos agudo que el otro porque pierde materia al paso que el negativo la gana. Cambiemos ahora la direccion de la corriente; ya estais viendo que el carbon más agudo se despunta miéntras que el otro se adelgaza; además, de vez en cuando se desprenden algunas partículas más gruesas, atraviesan el espacio en forma de pequeñas masas incandescentes é indican el sentido del trasporte. Mirad esos globulitos que parecen hervir en varios puntos de la superficie de los carbones; son glóbulos de sílice derretida; observad que no aparecen allí donde la temperatura es más elevada y que se volatilizan ántes de llegar á ellos el desgaste de los carbones. Reparad en esa vena impura, en la cual se ve una considerable cantidad de esos glóbulos de sílice; el brillo del arco se debilita, y si se sopla ligeramente entre los carbones, la corriente de aire

inclina la llama y nos muestra su desarrollo. Aquí teneis una parte de los carbones en que su pureza parece no dejar nada que desear. Ved cuán tranquilo está el arco, qué regular es su marcha, y cuán iguales sus superficies. Mirad cómo contrasta la suave luz azulada del arco con el blanco deslumbrador de ciertas partes de los carbones; el arco forma una especie de cono truncado, dilatado en su parte media y cuyas dos bases están sobre los carbones; estas dos bases son las partes más luminosas y las de temperatura más elevada, yendo á chocar en ellas las moléculas trasportadas por la corriente.»

Este trasporte de partículas de un polo á otro en el arco explica en qué consiste que



Fig. 237.—Arco voltaico. Conos de carbon

despues de hacer brotar la luz manteniendo al principio muy próximos los carbones, se les pueda separar luégo progresivamente. Dichas partículas forman á modo de una serie de conductores discontínuos, entre los cuales estalla la chispa; el arco está constituido por la reunion de todas las luces parciales que resultan de estas descargas.

Hemos dicho que la longitud del arco depende del número de elementos de la pila; pero tambien depende de la naturaleza de los electrodos. Los cuerpos más fusibles y dotados de menor tenacidad son los que producen los arcos más largos. Segun Grove, los metales pueden clasificarse por este concepto en el órden siguiente, empezando por los que dan los arcos de mayor longitud y brillo: *potasio, sodio, zinc, mercurio, hierro, estaño, plomo, antimonio, bismuto, cobre, plata, oro y platino.*

VI

ACCION DEL MAGNETISMO SOBRE LA LUZ ELÉCTRICA

Un experimento interesante, ya descrito, nos ha mostrado la influencia del iman sobre la luz del arco voltaico; siendo diamagnéticas las partículas incandescentes del arco, están sujetas á la accion repulsiva del iman. Se puede obtener un efecto análogo operando sobre chispas de induccion, por ejemplo, sobre las que produce el carrete de Ruhmkorff. En la figu-

ra 238 se ve cómo se prepara este experimento. Tan luégo como el electro-iman está en accion, la chispa que se ha hecho brotar entre sus dos polos toma la forma de una capa luminosa semicircular, de la cual radia una porcion de líneas de fuego. Esta capa dirige su parte cóncava á un polo y la convexa al otro; pero se

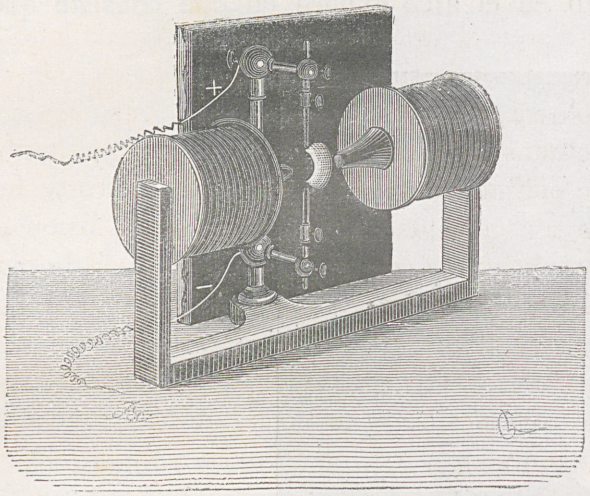


Fig. 238.—Accion de un iman sobre la chispa de chispa

invierte si se cambia el sentido de la corriente del carrete de induccion, sucediendo lo propio si se modifica la de la que anima al electro-iman, y por consiguiente el órden de sus polos.

Plucker, Gassiot y de la Rive han hecho interesantes estudios sobre la influencia de los imanes en el aspecto que adquieren las diferentes clases de luces eléctricas. La figura 239 reproduce una de las modificaciones que sufre la luz del polo negativo de un tubo de Geissler cuando se le coloca entre los polos de un electro-iman. El fulgor morado que llena el tubo alrededor del electrodo negativo se trasforma en una capa delgada y plana al recibir el electro-iman la corriente que lo anima. La forma y la posicion del espacio oscuro que separa esta luz de las estratificaciones del polo positivo cambian segun que el negativo esté á la derecha ó á la izquierda de la línea de los polos del electro-iman, y segun que la direccion del tubo sea perpendicular ó paralela á esta línea.

Plucker habia observado al hacer estos experimentos que la accion magnética ocasionaba mudanzas en el color de la luz de los tubos. Treves ha estudiado este último fenómeno, empleando tubos de Geissler cuya parte media era capilar. Ponia esta parte entre las armaduras cónicas de un electro-iman, en direccion perpendicular á la línea de los polos, y apénas pasaba la corriente y animaba el electro-iman, cambiaba el color de la luz del tubo; siendo estos cambios característicos de la naturaleza de los gases enrarecidos. Si el tubo contenia hidrógeno, en cuyo caso la luz es morada en los polos y encarnada en la parte capilar, este último color desaparecia, reemplazándolo una luz blanca. El oxígeno produce un efecto totalmente contrario; la luz blanca pasa al encarnado; en el nitrógeno pasa del azul claro al oscuro, y en el ácido carbónico del blanco al azul. En un tubo de fluoruro de silicio los extremos son verdosos, y la parte capilar azulada, á la cual hace el magnetismo azul-morada. En un tubo de bromo, pasa del morado al azul, y en uno de cloro, del blanco azulado al azul oscuro.

¿Cuál es la causa de la influencia del magnetismo sobre la luz de las corrientes de induccion, y en general sobre la luz eléctrica? Este es un punto que todavía no se ha dilucidado. Todo lo que podemos decir se reduce á que la luz de los gases enrarecidos es un verdadero conductor, y que la corriente que la atraviesa está sujeta como las otras á la accion de las corrientes y de los imanes próximos, con arreglo á las leyes descubiertas por Ampère. De la Rive ha aclarado este punto con varios experimentos,

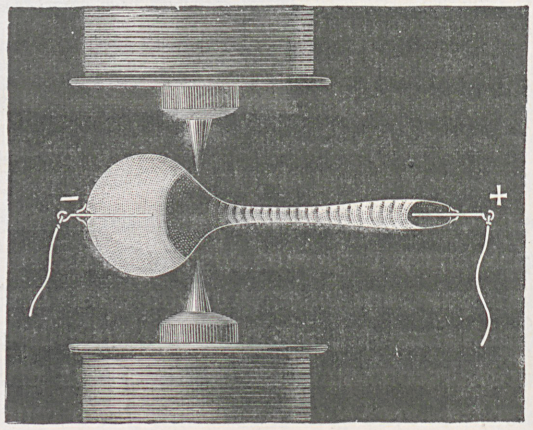


Fig. 239.—Accion de un iman sobre la luz eléctrica

entre los cuales haremos mencion de la rotacion de la chispa por un iman. El aparato representado en la figura 240 es el de que se valió el ilustre físico. Se compone de un huevo eléctrico, en cuyo interior penetra en parte un cilindro de hierro dulce A B con su superficie lateral cubierta de una espesa capa de goma

laca, estando la otra parte fuera del huevo y metida en un carrete E. Cuando se ha enrarecido convenientemente el aire del huevo eléctrico mezclado con una pequeña cantidad de éter, se hace pasar á él por los alambres R R' la corriente de un carrete de induccion. Entre el extremo C del cilindro de hierro y el anillo de cobre que rodea su extremo inferior dentro del huevo y que comunica con el tubo del que

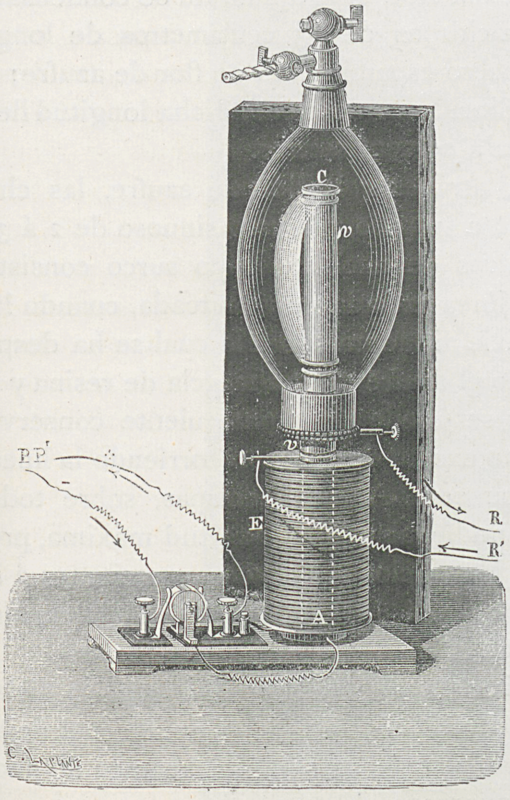


Fig. 240.—Rotacion del arco voltáico por efecto de un iman

parte el alambre R, brota un arco luminoso. Este arco está formado de una ó varias líneas luminosas curvas que empiezan á girar alrededor del cilindro así que el carrete recibe la corriente de la pila P P', es decir, tan luégo como el electro-iman entra en accion. El sentido de la rotacion obedece á las leyes de Ampère, y varía cuando se hace variar el de la descarga de induccion ó se invierten los polos del iman.

VII

FENÓMENOS LUMINOSOS DE LAS CORRIENTES SECUNDARIAS

Vamos á completar cuanto teníamos que decir acerca de los efectos luminosos de la electricidad con la descripcion de algunos fenómenos descubiertos por medio de corrientes de alta tension, y empleando al efecto las baterías secundarias y la máquina reostática. Tomaremos los elementos necesarios para esta descripcion de M. Planté, inventor de dichos aparatos.

Haciendo actuar sobre un voltámetro de agua destilada la corriente de 20 baterías secundarias compuesta cada una de 40 pares, ha observado dicho físico los siguientes fenómenos: «Sumergido de antemano el electrodo positivo en el agua destilada, y acercando el hilo negativo á la superficie del líquido y levantándolo en seguida, nace una llama casi esférica, de unos 2 centímetros de diámetro. El alambre de platino de 2 milímetros de diámetro se funde con vivacidad, manteniéndose en fusion á la altura de 14 á 15 milímetros sobre el líquido. Esta llama está formada por el aire enrarecido incandescente, por el vapor del metal del electrodo y por los elementos del vapor de agua descompuesto: el análisis espectral revela claramente en ella la presencia del hidrógeno.

»Si, para evitar la fusion del metal, se disminuye la intensidad de la corriente interponiendo una columna de agua en el circuito, la chispa aparece en forma de un *globito* de fuego de 8 á 10 milímetros de diámetro. Levantando algo más el electrodo, este globo adquiere una forma ovoidea, y en la superficie del agua aparecen puntos azules luminosos cuyo número varía continuamente, dispuestos en círculos concéntricos. En breve parten del centro radios del mismo color que van á reunirse con dichos puntos. Estos radios emprenden á intervalos un movimiento giratorio, ora en un sentido, ora en otro, describiendo espirales. A veces desaparecen todos los puntos y radios de un mismo lado, y se observan en la superficie del líquido curvas variadas, formadas por el movimiento de los que quedan. Por último, cuando aumenta la rapidez del movimiento giratorio, todos los radios se disipan, viéndose tan sólo anillos concéntricos. Los anillos vienen á ser el último término de estas trasformaciones, curiosísimas de contemplar á la simple vista ó con un anteojo, constituyendo un verdadero *Kaleidoscopio eléctrico*.

»El orígen de estas figuras, añade M. Planté, se explica por la gran movilidad de los arcos ó filetes luminosos que componen la luz ovoidea formada entre el agua y el electrodo. Examinando con cuidado esta forma particular

de chispa, se reconoce que es en realidad una especie de moño ó de penacho voltaico, análogo á los de la electricidad estática, pero de más cuerpo á causa de la mayor cantidad de electricidad que entra en ella. Hallándose estos filetes luminosos en un estado de agitacion continua, los puntos en que tropiezan con la superficie del líquido se desvian constantemente y forman los radios observados, procediendo su movimiento giratorio de la reaccion ocasionado por el paso del flujo eléctrico. Los anillos se forman de una manera perceptible, á la vista del observador, en virtud del movimiento cada vez más rápido de los puntos azules y de la persistencia de la impresion en la retina.»

Las descargas de la máquina reostática producen efectos luminosos análogos á los de las máquinas eléctricas y carretes de induccion, pero que presentan asimismo algunas particularidades interesantes. Por ejemplo, la chispa tiene una forma especial cuando los brazos del excitador entre los cuales brota forman un ángulo muy obtuso. «Esta forma consiste en una línea de fuego que parte en línea recta en la prolongacion del brazo positivo, elevándose notablemente por cima de la punta negativa y yendo á reunirse con ella á modo de gancho, despues de trazar sobre este punto muchas sinuosidades. Vemos la misma forma en el penacho que da la máquina cuando se aumenta uno ó dos milímetros la distancia de las puntas. Lánzase del polo positivo un haz luminoso cónico, recorre casi las tres cuartas partes de la distancia al polo negativo y se encorva hácia el corto penacho formado al rededor de la punta negativa.»

M. Planté atribuye esta diferencia de forma á que la máquina reostática no da, como los carretes de induccion, un flujo de electricidad alternativamente positiva y negativa, sino siempre del mismo sentido. Con máquinas de 30 á 50 condensadores, las chispas llegan á tener de 4 á 5 centímetros de longitud, pero son ménos continuas y su forma ménos constante; sus sinuosidades suben ó bajan con irregularidad por encima ó por debajo de la recta que une las dos puntas del excitador. Los penachos que aparecen en el polo positivo son de forma ovoidea y ramificada, semejante en cuanto á lo demás á los que hemos descrito anteriormente y que dimanan de las descargas de las máquinas eléctricas.

Planté ha visto que la longitud de las chispas producidas en el aire por la máquina reostática es sensiblemente proporcional al número de condensadores de que está formada, y que con 10, 30 ú 80 de estos las chispas tenian 1,5, 4,5 y 12 centímetros de longitud. Echando un polvillo conductor entre los brazos del excitador, la máquina de 80 condensadores daba chispas de 15 centímetros de longitud. El polvo esparcido era de flor de azufre; pero con limaduras de metal, dicha longitud llegaba hasta á 70 centímetros.

Al atravesar la flor de azufre, las chispas dejan á su paso un surco sinuoso de 2 á 3 milímetros de anchura, cuyo surco consiste en una línea azulada muy marcada, cuando la superficie aisladora sobre la cual se ha desparramado el azufre es una mezcla de resina y parafina; se puede por consiguiente conservar la forma exacta del surco recorriendo la línea con un punzon. Algunas chispas, sobre todo las que no llegaban á la longitud máxima, presentan bifurcaciones cerradas semejantes á *anastomosis*, ó á los brazos de un rio cuando se divide la corriente para formar islas.

Si se da un leve choque á la placa aisladora que contiene el azufre y en la cual dejan un rastro las chispas, segun acabamos de decir, se ven aparecer arborescencias que muestran cómo se ha distribuido el flúido eléctrico en la descarga. «Estos efectos, dice M. Planté, nos explican las señales de apariencia vegetal que á veces se ha observado en el cuerpo de las personas muertas por el rayo, y que no son más que el resultado de las ramificaciones de la chispa eléctrica (1)». Antes de dar á la placa el golpe que

(1) Véase un ejemplo reciente de tan singular rastro de la chispa, referido por M. Planté: «Un pastor del condado de Leicester guardaba su rebaño en el campo, cuando estalló una tormenta, y corrió á guarecerse bajo un árbol, siguiendo el pertinaz ejemplo de muchas personas. Al poco tiempo, sintió una conmocion en el hombro izquierdo, y quedándose de pronto sin fuerza en las piernas, se cayó al suelo. Cuando se le trasladó á su casa, conservaba aún todo su conocimiento; pero se quejaba de dolores en la espalda y en las piernas. El médico llamado para asistirle le reconoció detenidamente, y observó en su cuerpo un rarísimo efecto del rayo. Desde el hombro derecho hácia abajo, corriéndose por toda la espalda, tenia, admirablemente reproducido de relieve en la piel y de un hermoso color escarlata, un tallo de arbusto con numerosas ramas delicadamente trazadas como con la punta de una aguja. El tronco tenia unos tres cuartos de pulgada de anchura, y el aspecto general era el de un helecho de seis ú ocho ramas, estando todo ello muy bien reproducido y como impreso en la

da orígen á las arborescencias, el surco de la chispa, más ancho en el polo positivo, va estrechándose hácia el negativo, donde aparecen huellas circulares que corresponden á los contornos de los ramitos arborescentes. Alrededor del polo positivo hay líneas divergentes que radian como las ramitas de la arborescencia, pero mucho más recortadas que las del polo negativo.

Muchas veces hemos tenido ocasion de consignar esta diferencia entre ambos polos, por ejemplo en las chispas y penachos de la elec-

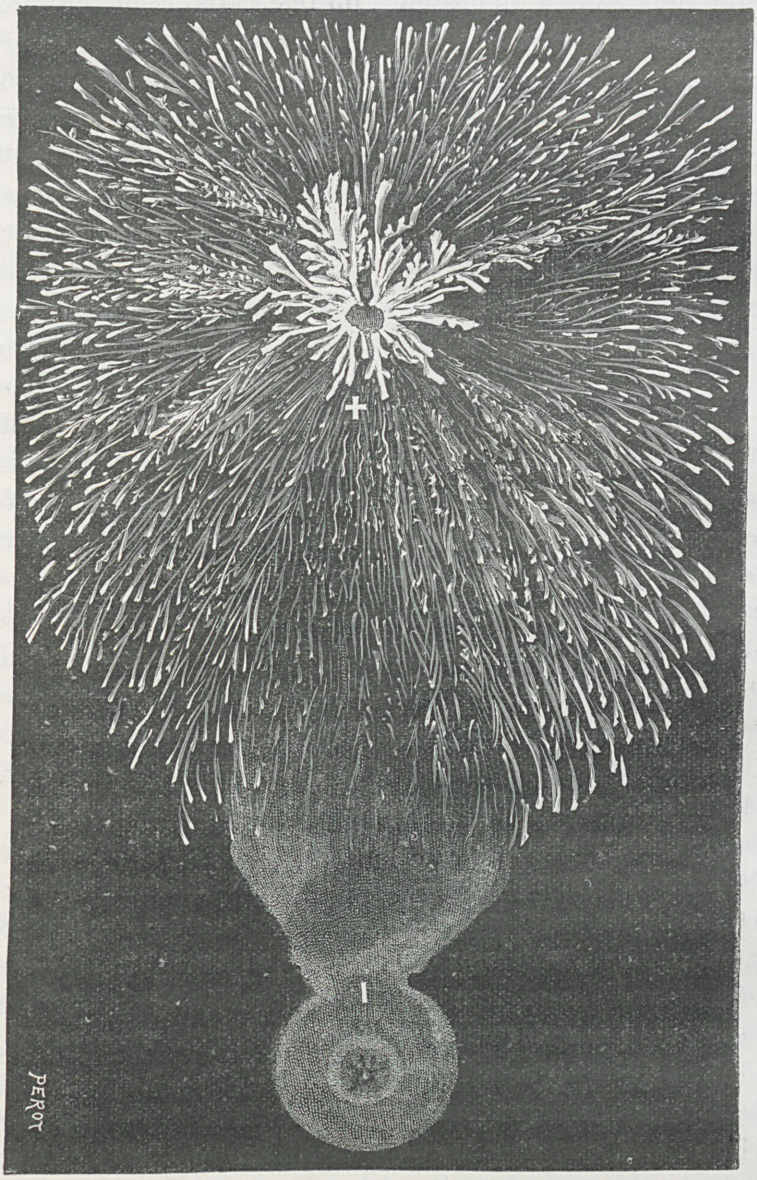


Fig. 241.—Figura de Leichtenberg obtenida con la máquina reostática.—Penacho

tricidad estática lo mismo que en las descargas de induccion; habiéndonos dado ejemplos característicos de ello las figuras de Lichtenberg, obtenidas con el electróforo. M. Planté las ha obtenido tambien haciendo brotar la chispa de su máquina reostática sobre resina pura, é insuflando en seguida en ella una mezcla de polvos de azufre y minio. Reproducimos una de estas interesantes muestras del rastro de la descarga que, producida haciendo variar la distancia de las puntas del excitador, demuestra en qué difiere el penacho de la chispa. La fig. 241 es la que resulta cuando la distancia de las puntas es demasiado grande para que la chispa pueda estallar. En este caso sólo apare-

espalda del paciente. Fácil es darse cuenta del caso de que se trata, añade M. Planté, por su analogía con lo que pasa en el experimento anterior. En el momento de estallar la chispa, se ve la flor de azufre lanzada al aire, y más especialmente al rededor de los polos. Así tambien, en el caso de la caida del rayo, el polvo del suelo, ó de cualquier otra materia situada al paso de la descarga, debe ser lanzado al espacio, y se comprende que esta materia, elevada de pronto á una gran temperatura, produzca en el cuerpo humano un efecto de cauterizacion instantánea de forma arborescente.»

ce un penacho; el movimiento eléctrico emanado del polo negativo y que está caracterizado por el polvo rojo del minio adherido á la resina, no se extiende hasta el polo positivo. Este está caracterizado, al contrario, por los rayos divergentes que forman una corona de flores de azufre en su alrededor, cuya corona no presenta en su centro vestigio alguno de minio.

Pero si la distancia entre las puntas es bastante reducida para que brote la chispa, no sucede ya así; entónces el minio se esparce hasta el polo positivo, cuya corona queda abierta y llena en su interior de dicho polvo indicando así que el movimiento eléctrico partido del polo negativo se ha extendido hasta el punto de donde emana la electricidad positiva.

VIII

ANÁLISIS ESPECTRAL DE LA LUZ ELÉCTRICA

En el segundo tomo del MUNDO FISICO hemos visto que las primeras observaciones de las rayas del espectro solar datan del año 1802 y que Wollaston fué quien las hizo. El mismo físico observó la luz de una bujía, que le pareció dividida en cinco imágenes de colores diferentes, separadas por intervalos oscuros, y notó además una division análoga, aunque algo distinta, en una línea azul de la luz eléctrica. Frauenhofer estudió esta luz, en la cual distinguió muchas rayas brillantes, y en especial una verde, otra en el anaranjado un poco más débil que la primera, y en el extremo rojo del espectro, otra raya todavía más débil.

A la sazon no se sabia qué interpretacion dar á la presencia de estas líneas en los espectros de las luces, y lo mismo á las líneas oscuras que á las rayas brillantes observadas en los varios focos. Pero ahora sabemos ya que el descubrimiento de la inversion de las rayas hecho por Foucault, seguido poco despues de los notables trabajos de Kirchhoff, ha allanado el camino para establecer un nuevo método de análisis, merced al cual se pueden conocer las sustancias cuya incandescencia produce la luz analizada, por el número, posicion y naturaleza de las líneas espectrales.

Con este objeto, se han hecho numerosas investigaciones sobre la composicion de las luces eléctricas, lo mismo sobre la chispa de electricidad estática que sobre la de induccion, y así por lo que se refiere al arco voltaico como por lo que toca á los fulgores observados en los gases enrarecidos. Procuremos dar una idea de ellos.

Ya en 1835 habia estudiado Wheatstone los espectros de la luz eléctrica; observando con un telescopio la luz producida por una máquina magneto-eléctrica, vió que el espectro de la chispa sacada del mercurio contenia siete bandas luminosas separadas por espacios oscuros: dos bandas en el anaranjado, una verde brillante, dos verde-azuladas y una morada. Variando la clase de los metales que servian de electrodos y entre los cuales saltaba la chispa, vió que con ellos variaban tambien en número y posicion las rayas observadas; la influencia del medio le pareció nula, siendo los resultados los mismos, ya estallara la chispa en el aire, ya en el vacío barométrico, ó bien en el ácido carbónico ó en el oxígeno. La influencia de los metales en las rayas es tan marcada, que habiendo puesto Wheatstone por electrodos alambres compuestos de diferentes aleaciones, reconoció en el espectro de la chispa resultante las líneas brillantes de los dos metales que formaban la aleacion. Los experimentos de Masson confirmaron los del físico inglés, pero ampliándolos con un hecho importante: las rayas de la luz eléctrica dependian efectivamente de la naturaleza de los electrodos, pero algunas de ellas eran comunes á los distintos metales, variando sólo de intensidad de uno á otro. Haciendo estallar la chispa en el aire ó en diferentes gases, á varios grados de presion, vió que la intensidad de las rayas cambiaba con la naturaleza del gas y con la presion, pero sin que sucediera lo mismo con su número y posiciones. La deduccion, como se ve, era la misma que la que se podia sacar de los experimentos de Wheatstone, mucho más numerosos y completos. Pero Angström ha reconocido que las rayas comunes observadas por Masson en los espectros de la luz eléctrica obtenida con diferentes metales, dependen de la naturaleza del medio, es decir, del gas en el cual brota la chispa. Esta mezcla de las rayas características de los metales con las que lo son del medio ambiente hace que sean muy delicadas las investigaciones de esta clase.

Si los extremos de los electrodos están muy

próximos y la chispa es corta, predominan las rayas del metal, aunque no desaparecen las del medio. Cuanto más larga es la chispa, tanto más se debilitan las primeras, dejando entónces que predominen las rayas del medio ambiente.

La luz que resulta de la descarga del carrete de induccion en los tubos de Geissler con gases enrarecidos, da un espectro absolutamente independiente de la naturaleza de los conductores. Pero el número y el brillo de las rayas varían considerablemente con las condiciones del experimento; las dimensiones del tubo empleado, la presion del gas, y la intensidad de la descarga son otros tantos factores que influyen en el espectro obtenido. En el capítulo de LA LUZ consagrado al análisis espectral hemos visto los procedimientos de observacion que se han adoptado para el estudio de los espectros gaseosos, y las precauciones que se requieren para evitar las causas de error.

Los físicos que hemos citado más arriba, Wheatstone, Foucault y Masson, han estudiado tambien el espectro del arco voltaico. En general, las rayas observadas son las mismas que las de la chispa para los mismos electrodos; pero son ménos numerosas en el espectro del arco, lo cual ha atribuido Masson á la menor tension eléctrica que le da orígen, considerándolo formado de una serie de chispas ménos vivas que la ordinaria. Hé aquí algunos detalles sobre la naturaleza de los espectros eléctricos dados por diferentes metales empleados como electrodos:

Con el cadmio, el espectro da rayas azules y verdes muy brillantes. El antimonio da un gran número de rayas brillantes; pero sin que predomine ningun color, lo cual explica la blancura de la chispa. Otro tanto sucede con el bismuto. El espectro obtenido con el plomo es notable por la extension de la region del morado, en la cual se distinguen hermosas rayas. Una banda verde manzana caracteriza al espectro del zinc. El de la plata es muy brillante en el verde, en el cual se ven muchas rayas; el amarillo y el morado son particularmente luminosos en el espectro de la chispa que estalla entre electrodos de oro. El hierro, el platino y el estaño no ofrecen nada de particular. Por último, los electrodos de carbon dan una luz cuyo espectro se distingue por una multitud de rayas brillantes.

Hemos dicho que las rayas de los metales son las mismas en el arco voltaico que en la chispa. Pero hay entre ellas una diferencia notada por Masson y confirmada por los experimentos de Van der Villingen, y es que la influencia del medio ambiente no modifica el espectro del arco, al paso que este, segun hemos visto, agrega sus rayas específicas á las de los metales que le sirven de electrodos.

Terminaremos haciendo una observacion general sobre los espectros de la luz eléctrica, y es que todos ellos se caracterizan por la gran extension y por la intensidad de la region ultra-morada, ó lo que es lo mismo, que son muy abundantes en rayos químicos.

IX

PROPAGACION Y VELOCIDAD DE LA ELECTRICIDAD

Cualquiera que sea el carácter ó la clase del movimiento que da orígen á la propagacion de la electricidad por la superficie de los cuerpos conductores ó por los hilos que forman un circuito voltaico, se comprende que dicha propagacion no será instantánea, pudiéndose buscar el modo de calcular su velocidad, lo mismo que se ha hecho respecto del sonido. Problema es este que han tratado de resolver los físicos desde mediados del siglo anterior, pero ni Deluc en Ginebra, ni Le Monnier en Francia, ni Watson en Inglaterra pudieron resolverlo, ó por lo ménos el resultado de sus experimentos fué que la velocidad de la electricidad es comparable á la de la luz. Véase cómo procedió Le Monnier: «Despues de algunas tentativas cuyo resultado no le pareció bastante positivo, puso dos alambres de hierro paralelos alrededor de un gran cercado; cada uno de ellos tenia 950 toesas de largo y sus cuatro extremos iban á parar á un ángulo de dicho cercado, muy cerca unos de otros; un hombre cogió con cada mano la punta de un hilo, y de este modo se estableció una comunicacion de uno á otro, no formando más que un solo cuerpo de 1900 toesas de longitud, en medio del cual estaba situado el hombre que sostenia las puntas de los hilos.

»Por este medio, aunque el hombre se halla-

ba colocado en medio de la longitud total del cuerpo que se habia de electrizar, estaba muy inmediato á las otras dos puntas, y podia juzgar fácilmente si sentia la conmocion en el momento en que viese estallar la chispa; y así sucedió en efecto. Habiendo cogido Le Monnier con una mano el extremo de uno de los alambres de hierro, acercó al del otro alambre el hilo de laton de la botella eléctrica que sostenia en la otra mano, y en el instante en que brotó la chispa, él y el hombre situado en medio de la longitud de los alambres de hierro sintieron la conmocion, sin que les fuera posible apreciar el menor intervalo entre la chispa y la conmocion, aunque hubiera sido fácil discernir hasta un cuarto de segundo, si lo hubiera habido.

»Para tener una prueba aún más concluyente de este fenómeno, el mismo físico hizo algun tiempo despues otro experimento algo diferente, cuyo éxito confirmó el del anterior. Habiendo elegido un sitio á propósito en un llano de las cercanías de Paris, lo rodeó con un alambre de hierro de 4000 toesas de largo, ó sean dos leguas, dejando las puntas de ambos hilos á seis ó siete piés de distancia una de otra. Miéntras Le Monnier tenia una de ellas en la mano, otro observador que sostenia la botella eléctrica, acercó el hilo de laton de la misma á la otra punta, y en el mismo instante los dos observadores sintieron la conmocion en los brazos. Esta es ménos fuerte en este experimento que en el anterior, porque su violencia se reparte entre los dos observadores; así es que cada uno de estos experimentó solamente la mitad de la conmocion que hubiera sentido si hubiese estado cerrado el círculo de comunicacion de uno á otro; pero el resultado no por eso dejaba de tener la seguridad apetecida para el objeto propuesto. Repitióse el experimento dando siempre el mismo resultado, sin que se pudiera notar el menor instante perceptible entre la aparicion de la chispa y la sensacion del choque. Así pues, la electricidad recorre un espacio de dos leguas en un instante imperceptible.» (*Historia de la Academia real de ciencias*, 1746.)

Watson hizo en Inglaterra, en 1748, experimentos muy parecidos, que le dieron el mismo resultado, y hasta un siglo despues no se logró determinar numéricamente la velocidad de propagacion de la electricidad. Continuóse suponiéndola muy grande, pero sin poder asignarla límites. Al describir Biot algunos de los efectos físicos y mecánicos de la fuerza eléctrica, añade: «Debemos pues tener la más elevada idea de la energía de esa fuerza y de la enorme velocidad que sin duda posee la materia eléctrica para que, sin ninguna masa apreciable en las balanzas más sensibles, pueda imprimir á cuerpos pesados y sólidos tan grandes cantidades de movimiento. Sábese, en efecto, que cuando un cuerpo pone á otro en movimiento chocando con él, la suma de los productos de las masas por las velocidades es la misma ántes y despues del choque. ¿Qué velocidad no habrá de suponerse en la electricidad para que esta rigurosa ley de la mecánica se observe en los fenómenos que hemos descrito? El diámetro de la Tierra entera seria tal vez demasiado pequeño para hacer perceptible su trasmision.»

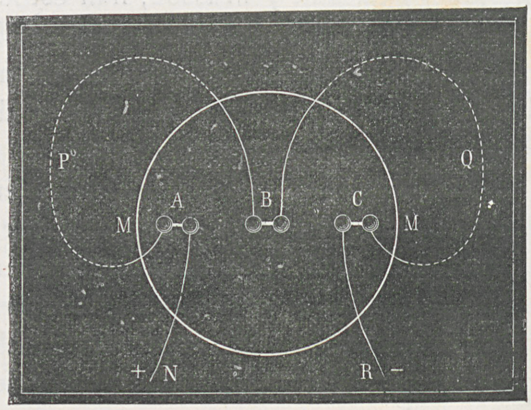


Fig. 242.—Experimento del espejo giratorio de Wheatstone

Los experimentos de Wheatstone en 1834 vinieron á disipar lo que en estas miras teóricas habia de oscuro ó aventurado. El método que ideó este físico no es otro sino el del espejo giratorio empleado por Foucault para averiguar la velocidad de la luz. Siendo el principio el mismo en ambos métodos, nos limitaremos á describir sucintamente la disposicion adoptada por el inventor para el objeto especial que se proponia.

Supongamos que delante de un espejo M y en una línea paralela al diámetro horizontal que es el eje de rotacion del espejo, se ponen seis bolas metálicas separadas en tres grupos A B C. Cada una de las dos bolas de en medio está

unida á las extremas con dos alambres de cierta longitud, por ejemplo de 367 metros; la segunda y la quinta comunican por su respectivo hilo con dos armaduras de una botella de Leyden. Al ocurrir la descarga al través de todo este conjunto, brotan tres chispas en A B C. Si la electricidad se propaga con velocidad infinita ó por lo ménos bastante grande para recorrer las porciones P y Q' del hilo conductor en un tiempo inapreciable, las chispas serán

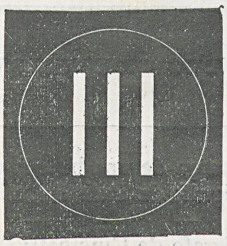


Fig. 243.—Aspecto de las bandas luminosas en la hipótesis de una velocidad infinita

ó por lo ménos parecerán absolutamente simultáneas. Si no es así, veremos cómo se podrá reconocer esta no simultaneidad mediante el espejo, y medir el tiempo trascurrido de una á otra.

Recordemos que la imágen de un punto luminoso reflejada en un espejo que gira alrededor de uno de sus diámetros se desvia describiendo un arco que tiene por centro un punto del eje de rotacion, y que el valor angular de la desviacion, es decir del arco en cuestion, es precisamente doble del ángulo de rotacion del espejo. Si el punto luminoso es de corta duracion, su imágen describirá un arco limitado, cuya magnitud dependerá de la velocidad de rotacion del espejo. Como la duracion de la impresion luminosa es de un décimo de segundo próximamente, se verán á la vez todas estas imágenes sucesivas en forma de rastro luminoso, con tal de que el fenómeno dure ménos de un décimo de segundo. Esto es lo que sucede con la chispa eléctrica que, para una velocidad del espejo que equivalga á 800 vueltas por segundo, aparece en forma de banda luminosa. Wheatstone midió la amplitud de esta banda y vió que era de 24°. Así pues, el espejo habia girado á su vez un ángulo la mitad menor, es decir, de 12°, ó sea la 30.ª parte de una circunferencia. Este primer resultado da ya un valor aproximado de la duracion de las chispas en las condiciones en que se hacia el experimento, duracion que era de $\frac{1}{30\times800}$ ó de la 24000.ª parte de un segundo (0^s,000,042).

Veamos ahora cómo pudo medir Wheatstone la velocidad de propagacion del flúido eléctrico. Hemos dicho que brotan tres chispas en el momento de la descarga entre las bolas de cada grupo, por lo cual se ven reflejadas tres bandas luminosas en el espejo giratorio; siendo las tres de la misma longitud, marcan así la igualdad de duracion de cada una de ellas. Pero no empiezan todas en el mismo instante, pues si fuera así, las tres deberian ocupar en el espejo posiciones idénticas relativamente al eje, y los extremos de las tres líneas paralelas tendrian la misma altura, como en la figura 243. En vez de esto, la de en medio parece situada más alta ó más baja que las de los extremos, segun que el espejo gire en un sentido ó en el otro figura 244. ¿Qué se debe deducir de esto? Que la chispa que brota entre las dos bolas medias se retrasa siempre relativamente á las otras dos, y que este retraso tiene sin duda por causa el tiempo que la electricidad invierte en recorrer cada uno de los hilos de 367 metros que enlazan los grupos de bolas entre dos soluciones de continuidad sucesivas.

Luego la velocidad de la electricidad no es infinita. Para medirla, faltaba valuar la cantidad angular á que se encontraba la banda luminosa

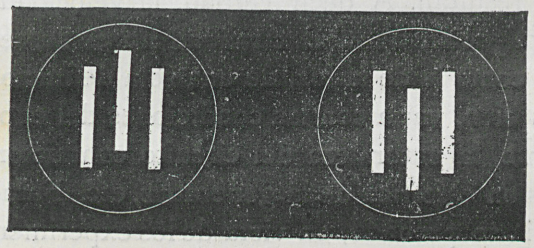


Fig. 244.—Imágen de las chispas en el espejo giratorio

sobre ó debajo de cada una de las otras dos. Wheatstone vió que la chispa correspondiente á ella se retrasaba siempre casi medio grado con respecto á las otras, correspondiendo á un movimiento de rotacion del espejo de un cuarto de grado, ó á la 1440.ª parte de la circunferencia. Como el espejo efectuaba 800 vueltas por segundo, la electricidad recorrió el trayecto de 367 metros en una fraccion de segundo marcada por el denominador $1440 \times 800 = 1.152{,}000$. Así pues, la velocidad de propagacion es de

367 × 1.152,000 metros ó sea unos 423,000 kilómetros por segundo.

La exacta posicion de simetría de las dos bandas extremas, sea cualquiera el sentido de rotacion del espejo, prueba tambien dos cosas; la primera, que la electricidad no se propaga en una sola direccion, sino en dos sentidos á la vez, y la segunda, que la velocidad de su propagacion es independiente de la direccion de la corriente.

Ya hemos dicho que Wheatstone hizo sus experimentos en 1834, pero habiendo adquirido desde entónces un gran desarrollo la telegrafía eléctrica, se ha podido medir la velocidad del flúido utilizando los largos alambres aislados que enlazan las estaciones entre las cuales se trasmiten los telégramas. En el cuadro siguiente resumimos las cifras obtenidas por varios físicos.

VELOCIDAD DE PROPAGACION DE LA ELECTRICIDAD

OBSERVADORES	KILÓMETROS RECORRIDOS EN UN SEGUNDO	NATURALEZA DEL CONDUCTOR Y OBSERVACIONES	
Wheatstone.	423,000	alambre de cobre	Descarga de una botella de Leyden.
Fizeau y Gounelle.	100,000	— de hierro	Telégrafo de Paris á Amiens y Rouen.
Fizeau y Gounelle.	180,000	— de hierro	— — — —
O'Mitchell.	45,600	— de hierro	Telégrafo de Cincinatti á Pittsbourg.
Walker.	30,000	— de hierro	Telégrafo de Filadelfia á Cambridge.
Observatorios de Greenwich y de Edimburgo.	12,200	— de cobre	Telégrafo aéreo.
Observatorios de Greenwich y de Bruselas.	4,300	— de cobre	Cable submarino.
Faraday.	1,200	— de cobre	Hilo subterráneo.
Felici.	260,000	— de cobre	Descarga de una botella de Leyden.
Gould.	25,600	— de hierro	Telégrafo de San Luis á Washington.

Estas cifras presentan diferencias considerables que dependen de muchas causas. En primer lugar hay que tener en cuenta la diferencia de los métodos y los errores de las observaciones inherentes á ellos por decirlo así, pero que distan mucho de explicar las divergencias que resultan. A decir verdad, la velocidad de propagacion de la electricidad no es susceptible, como la de la luz, de una sola definicion, ó más bien, varía con las condiciones del experimento, la naturaleza del circuito conductor, la tension eléctrica de la generatriz, etc. Faraday habia sospechado, en vista de los experimentos de Wheatstone, que darian distintos resultados si se ponian los extremos de los hilos en comunicacion inmediata con grandes superficies metálicas aisladas, que hicieran las veces de condensadores, prevision que se ha visto realizada en los hilos telegráficos subterráneos, así como en los cables submarinos cuya cubierta aisladora de gutapercha sumergida en el agua del mar forma con el alambre á modo de un condensador. De aquí resulta un aumento considerable en la capacidad eléctrica de los hilos y el correspondiente retraso en la velocidad de propagacion de la corriente.

CAPÍTULO XII

LOS METEOROS ELECTRICOS

I

IDENTIDAD DEL RAYO Y DE LOS FENÓMENOS ELÉCTRICOS

Los fenómenos de electricidad que hasta ahora hemos tenido ocasion de describir son, casi sin excepcion, fenómenos producidos por medios artificiales, y gracias á los procedimientos discurridos por los físicos se han podido hacer patentes á nuestra vista sus efectos tan variados y á veces tan poderosos. La mera observacion ha sido casi nula en su descubrimiento, y la ciencia de la Electricidad, así co-

mo la del Magnetismo (que hoy dia se refunde en la primera) es, en cuanto se refiere á los fenómenos en cuestion, una ciencia experimental, ó hablando con más exactitud, una ciencia de observacion exclusivamente experimental. Ninguno de los hechos que la constituyen podia ofrecerse espontáneamente al estudio del docto, y esto explica sin duda por qué el Magnetismo y la Electricidad han sido las últimas ramas de la Física que se han constituido, y por qué han trascurrido largos siglos sin que el objeto mismo de estas ciencias se haya ofrecido de por sí á la curiosidad investigadora de los observadores. Las dos solas circunstancias de la atraccion del hierro por el iman natural y de los cuerpos leves por el ámbar frotado han sido los modestos puntos de partida de cada una de dichas ciencias, que el genio de Ampère ha acabado por refundir en una sola.

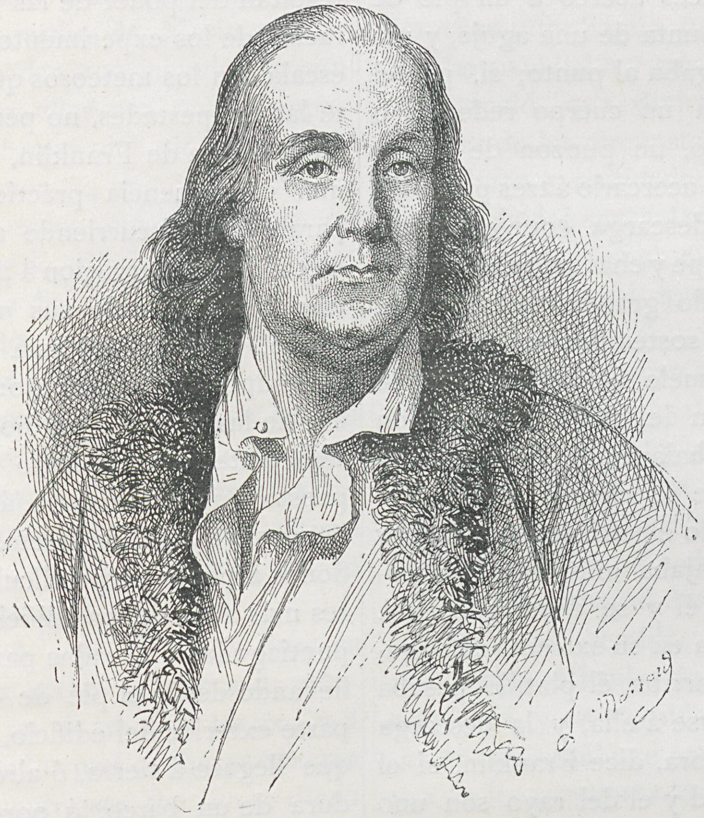


Fig. 245.—Benjamin Franklin

Debemos sin embargo confesar que si lo que acabamos de decir fuese rigurosamente exacto, constituiria una singular excepcion en la historia de las ciencias físicas y naturales. Pero no es así. En realidad, la Naturaleza ha venido indicando al hombre, desde el orígen de los tiempos, de una manera ostensible y con fenómenos grandiosos, la materia de una ciencia nueva. Desde la antigüedad más remota eran ya conocidas y observadas las auroras polares, aunque relativamente raras en las zonas templadas, allí donde la civilizacion creciente habia permitido al sér humano, filósofo ya y hombre de ciencia, especular sobre los fenómenos de que era testigo. El rayo, los relámpagos, el fragor del trueno y otros fenómenos semejantes no podian dejar de ser objeto de investigaciones científicas. Pero el rayo, lo propio que la aurora polar, siguió siendo un enigma hasta la época, no muy distante de la nuestra, en que las atracciones y repulsiones eléctricas se mostraron acompañadas de ciertos efectos luminosos, en los primeros y modestos experimentos de los Otto de Guericke, Wall y Gray, y en los que, merced á una feliz y arriesgada prueba de Benjamin Franklin, quedó demostrada la identidad del rayo y de la electricidad.

La memoria en que el ilustre físico americano compara los efectos del rayo con los de la electricidad, data del mes de noviembre de 1749; esto es, la habia escrito dos años y medio ántes de hacer sus experimentos sobre las nubes tempestuosas, y tambien ántes que el físico francés hiciera los suyos, puesto que unos y

otros se efectuaron en mayo de 1752. Franklin reconoció en esta época el poder de las puntas; y habiendo practicado dos ingeniosos experimentos en que entraba por mucho este poder y en los que descubrió una nueva analogía, concibió la idea de comprobar en las nubes tempestuosas la verdad de sus conjeturas. Habiendo colgado del techo de su cuarto y de unas hebras de seda un tubo de carton dorado de 10 piés de largo y uno de diámetro, lo cargó de electricidad. Entónces acercó á un pié de distancia del tubo la punta de una aguja, y vió que el tubo se descargaba al punto; si, por el contrario, le acercaba un cuerpo redondo ó embotado, por ejemplo, un punzon de hierro despuntado, tenia que acercarlo á tres pulgadas para que ocurriese la descarga, «que entónces, dice, resultaba con golpe y chasquido.» Suspendiendo del mismo modo grandes balanzas de cobre con los platillos sostenidos por cordones de seda, á un pié del suelo, electrizaba uno de estos. Como la torsion del hilo de suspension hacia dar vueltas á la balanza, ponia el punzon debajo, en un punto de la circunferencia descrita. Cuando el platillo electrizado pasaba por cima del punzon, se bajaba más, llegaba á ponerse en contacto con él y se descargaba así. Pero si el punzon tenia en su extremo una aguja con la punta hácia arriba, el platillo pasaba por encima sin acercarse á ella, y la descarga ocurria sin ruido. «Ahora, dice Franklin, si el fuego de la electricidad y el del rayo son uno mismo, conforme he tratado de demostrarlo en otro escrito, ese tubo de carton y esos platillos pueden representar las nubes electrizadas. Si un tubo de 10 piés de largo solamente, descarga su fuego sobre el punzon á 2 ó 3 pulgadas de distancia, una nube electrizada, que tal vez tenga 10,000 acres de extension, puede descargar su fuego sobre la tierra á distancia proporcionalmente mayor. El movimiento horizontal de los platillos sobre el suelo puede representar el movimiento de las nubes sobre la tierra, y el punzon levantado las montañas y los más altos edificios, y entónces vemos cómo al pasar las nubes electrizadas sobre estos ó aquellas á demasiada altura para descargar su flúido, pueden ser atraidas hácia abajo hasta la distancia necesaria para tal efecto; y por último, si se fija una aguja á un punzon con la punta hácia arriba, ó si se la clava en el pavimento debajo del punzon, atraerá el fuego del platillo, sin ruido, á mucha mayor distancia que la que se requiere para la descarga, y evitará así que baje hasta el punzon; ó si el platillo llegase en su marcha bastante cerca para descargarse, no podria hacerlo porque ántes quedaria privado de su fuego, y el punzon estaria preservado del choque.»

Este análisis minucioso de los efectos que resultan del poder de las puntas y esta comparacion de los experimentos hechos en pequeña escala con los meteoros que se observan durante las tempestades, no permanecieron estériles en la mente de Franklin, quien sacó de ellos una consecuencia práctica, la invencion del pararayos, discurriendo al propio tiempo un método de observacion á propósito para demostrar la exactitud de sus miras teóricas. Y en efecto, prosigue de esta manera: «Admitida esta suposicion, pregunto: conociéndose el poder de las puntas, ¿no podria ser provechoso semejante conocimiento para los hombres, puesto que preservaria á las casas, iglesias, buques, etc., de los efectos del rayo, induciéndonos á poner perpendicularmente en las partes más altas de los edificios barras de hierro puntiagudas y doradas para evitar el óxido, y llevando desde el pié de estas barras, por la parte exterior del edificio, un alambre de cobre que llegase á tierra, ó alrededor de la obencadura de un barco, ó por la borda hasta que penetrase en el agua? ¿No seria muy probable que dichas barras extrajesen sin ruido la electricidad de la nube, ántes que esta bajase lo suficiente para descargar sobre ellas? ¿No podríamos evitar por este medio muchos desastres repentinos y formidables?

»Para decidir esta cuestion, para saber si las nubes que contienen el rayo en su seno están electrizadas ó no, se me ha ocurrido proponer un experimento que podria intentarse en un lugar á propósito. Este consiste en poner en la cúspide de una elevada torre ó campanario una garita bastante capaz para contener un hombre y un taburete eléctrico, y en medio del taburete una barra que doblándose pasara de la puerta, y desde aquí se elevara perpendicularmente á 20 ó 30 piés de altura, rematando en una punta muy aguda. Estando el taburete

eléctrico limpio y seco, el hombre colocado en él podrá electrizarse y dar chispas, cuando las nubes electrizadas pasaran á poca altura, puesto que la barra de hierro atraeria hácia él el fuego de la nube.» (*Experimentos y observaciones hechos en Filadelfia*, 1749.)

Así pues, Franklin fué el primer instigador de los experimentos que demostraron la identidad del rayo con la electricidad, pero no fué el primero en realizarlos, honor que le corresponde al físico francés Dalibard. Este habia hecho plantar en un jardin de Marly muchas barras de hierro aisladas y terminadas en punta: cuándo pasó sobre ellas una nube tempestuosa, pudo sacar chispas del pié de una de dichas barras que tenia 14 metros de altura, cargar botellas de Leyden, etc., resonando un trueno al mismo tiempo. El citado físico efectuó este experimento decisivo el 10 de mayo de 1752. Un mes despues, Franklin hizo en América, acompañado de su hijo, el famoso experimento de la cometa, que Romas repitió al año siguiente. Gay-Lussac refiere en su *Instruccion de los pararayos* las circunstancias detalladas de las observaciones de este último físico, que no dejan de ofrecer interés, por lo cual las reproducimos aquí.

«La cometa tenia 7 1/2 piés de largo por tres de ancho. La cuerda era un bramante de cáñamo entrelazado con un alambre de hierro, y á fin de que el observador pudiese hacer cuantos experimentos se le ocurriesen sin riesgo de su persona, Romas ató al extremo del bramante un cordon de seda bien seco.

»A la una de la tarde del 7 de junio de 1753, remontó esta cometa á 550 piés de altura con un cordel de 780 piés de longitud que formaba con el horizonte un ángulo de 45°, y sacó de su conductor chispas de 3 pulgadas de largo y 3 líneas de grueso, cuyo chasquido resonó á 200 pasos de distancia. Al sacar estas chispas, sintió como si le tocara el rostro una telaraña, aunque se hallaba á más de 3 piés de la cuerda de la cometa, por lo cual creyó que era peligroso estar tan cerca, y dijo á todos los circunstantes que se apartasen, retirándose él mismo unos 2 piés.

»Creyéndose entónces más seguro y no viendo á nadie junto á sí, fijó su atencion en lo que pasaba en las nubes que estaban inmediatamente encima de la cometa, pero no observó en ellas ni en otra parte relámpago alguno, ni siquiera el menor indicio de trueno, ni tampoco llovia. El viento, que soplaba con bastante fuerza del oeste, remontó la cometa lo ménos 100 piés más.

»Fijando en seguida la vista en el tubo de hojalata atado á la cuerda de la cometa, y á unos 3 piés del suelo, vió que se levantaban tres pajas, una de cerca de 1 pié, otra de 4 á 5 pulgadas y la tercera de 3 á 4, poniéndose derechas y formando una danza circular bajo el tubo susodicho y sin tocarse una á otra. Este espectáculo, que divirtió en gran manera á muchos de los circunstantes, duró casi un cuarto de hora, y habiendo llovido en seguida un poco, volvió á sentir la impresion de la telaraña en su rostro, y al mismo tiempo un ruido continuo como el que produce un pequeño fuelle de fragua.

»Esto fué un nuevo aviso del aumento de la electricidad, por lo cual, desde el momento en que Romas vió saltar las pajas, no se atrevió á sacar más chispas, áun tomando toda clase de precauciones, y volvió á rogar á los espectadores que se retirasen todavía más.

»Inmediatamente despues siguióse el desenlace, que hizo temblar á Romas, segun confesion propia. El tubo de hojalata atrajo á la paja más larga, y en seguida resonaron tres explosiones cuyo ruido se pareció al del trueno. Varios de los presentes lo compararon al estallido de los cohetes, y otros al ruido que haria una tinaja rompiéndose contra el empedrado. Lo cierto fué que se le oyó en la ciudad, á pesar de los varios ruidos que en ella se hacian.

»El fuego que se vió en el momento de la explosion tenia la forma de un haz de 8 pulgadas de largo y 5 líneas de diámetro; pero lo más sorprendente y divertido fué que la paja que habia ocasionado la explosion corrióse por la cuerda de la cometa. Algunas personas la vieron á 45 ó 50 brazas de distancia, atraida y repelida alternativamente, con la particularidad de que cada vez que la atraia la cuerda, se veian chispas y se oian estallidos, si bien no eran tan estrepitosos como cuando la primera explosion.

»Hay que notar, que desde el momento de esta hasta el final de los experimentos, no se

vió relámpago alguno, y apénas se oyó tronar. Percibióse un olor de azufre muy parecido al de los efluvios eléctricos luminosos que salen de la punta de una barra de metal electrizada. Alrededor de la cuerda apareció un cilindro luminoso de 3 á 4 pulgadas de diámetro, y como era de dia, Romas no dudó que si hubiera sido de noche, aquella atmósfera eléctrica hubiera parecido de 4 á 5 piés de diámetro. Por último, despues de terminados los experimentos, se descubrió un hoyo en el suelo, precisamente bajo el tubo de hojalata, de bastante profundidad y de media pulgada de anchura, hecho probablemente por las grandes chispas que acompañaron á las explosiones.

»Estos notables experimentos acabaron con la caida de la cometa, por haber saltado de pronto el viento al este, y sobrevenido una copiosa lluvia mezclada con granizo. Cuando la cometa cayó, la cuerda se enganchó en un cobertizo, y al querer desprenderla el que la sujetaba, sintió de pronto tal sacudida en las manos y tal conmocion en todo su cuerpo, que hubo de soltarla, y al caer á los piés de otras personas, les produjo tambien una sacudida, aunque más soportable.

»La cantidad de materia eléctrica que la misma cometa sacó en otra ocasion de las nubes es verdaderamente asombrosa. El 28 de agosto de 1756 salieron corrientes de fuego de una pulgada de espesor y diez piés de longitud. Esta llama sorprendente, que tal vez hubiera producido efectos más perniciosos que ninguno de cuantos menciona la historia, fué conducida con seguridad por la cuerda de la cometa á un conductor situado muy cerca de ella, siendo su explosion como la de un pistoletazo.»

Muchos físicos de Francia, Inglaterra, Italia y Rusia hicieron experimentos análogos, y no sin peligro, como lo demostró la muerte de Richmann en San Petersburgo. Este físico habia puesto en el tejado de su laboratorio una barra de hierro vertical aislada, y puesta en comunicacion, por una cadena aislada tambien, con una varilla metálica empotrada en el techo y rematada en una bola. Habiéndose acercado demasiado á esta, Richmann recibió una descarga eléctrica en la cabeza y murió instantáneamente.

¿Qué resultaba de estos múltiples experimentos? Que las conjeturas de Gray y Wall, que las afirmaciones tan precisas de Franklin eran justas y legítimas, en una palabra, que las nubes tempestuosas están cargadas de considerables cantidades de electricidad, y que el relámpago y el trueno son, en escala inmensamente mayor, los mismos fenómenos que los físicos producen en sus laboratorios cuando efectúan la descarga de los aparatos electrizados. Una rápida reseña de los principales efectos del rayo y de los fenómenos que ocurren en las tempestades completará esta demostracion importante.

II

RELÁMPAGOS Y TRUENOS.—FORMAS, COLORES, DURACION Y LONGITUD DE LOS RELÁMPAGOS

El *relámpago* es la chispa que estalla entre dos nubes ó entre una nube y la tierra. Tras un espacio de tiempo que depende de la distancia á que el observador se halla de la region de la atmósfera en que ocurre la descarga, se oye el ruido del trueno, unas veces estruendoso como el de una detonacion brusca, y otras con fragor más ó ménos sordo y prolongado. Las nubes tempestuosas se componen á menudo de masas aglomeradas y superpuestas que, además de tener un movimiento de traslacion en la direccion del viento reinante, están animadas de movimientos intestinos, se reunen ó bien se dividen y desgarran, como si entre sus diversos fragmentos hubiese atracciones y repulsiones. Fácil es explicar estos últimos fenómenos, si se admite que las masas nebulosas están cargadas, unas de electricidad positiva, y otras de electricidad negativa. Cuando dos nubes superpuestas están cargadas de electricidades contrarias se atraen, se acercan, y tan luégo como la distancia es bastante pequeña, sobreviene una descarga y brota el relámpago. Por lo comun, esta descarga es sólo parcial, lo cual explica la imperfecta conductibilidad de las masas vaporosas que constituyen la nube, y á la primera chispa sucede una serie de relámpagos, cada uno de ellos seguido de una detonacion. Por otra parte, es probable que las mismas causas que han desarrollado la electricidad en la nube tempestuosa persistan despues de las primeras descargas y produzcan un nue-

vo flúido que prolongue la duracion del fenómeno.

La forma de los relámpagos es muy variable; por lo regular es la de una línea sinuosa, pero á veces tambien es una serie de líneas angulosas, parecidas á las chispas de las máquinas eléctricas; es sin embargo posible que entónces su verdadera forma sea espiroidal y que los ángulos aparentes procedan de que los contornos de la hélice luminosa se vean en perspectiva oblícua.

Es raro que un mismo relámpago se divida en dos brazos, y á veces en tres ó cuatro. Estos relámpagos *bifurcados*, *trifurcados*, *ramificados* tienen su punto de partida en la nube; la línea, única al principio, se divide en dos ó muchas ramas al llegar cerca de tierra. Arago menciona varios ejemplos de ello, y Kæmtz dice «que durante las fuertes tormentas, del relámpago principal se desprenden ramas laterales ó parece ramificado en su orígen.» Yo mismo he visto y copiado en una sola tormenta muchos relámpagos bifurcados y uno de cuatro brazos marcadamente separados.

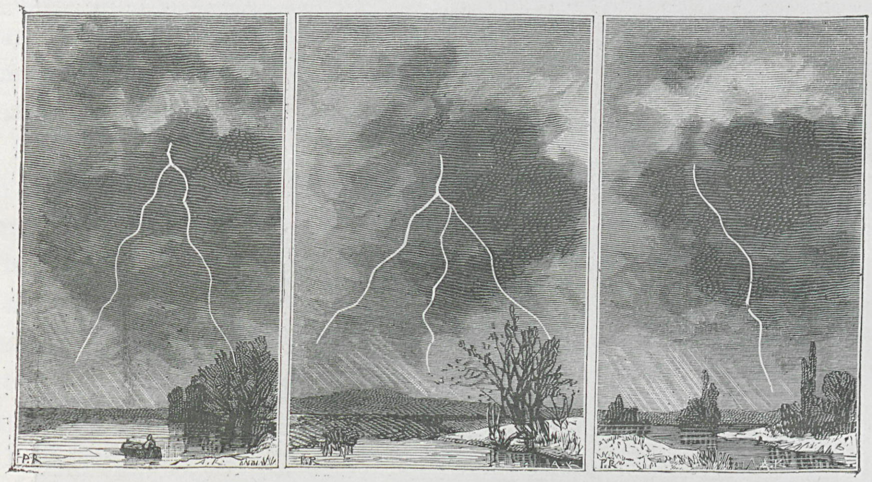


Fig. 246.—Relámpagos sencillos ó ramificados

Si los relámpagos múltiples son raros en Europa, no sucede lo propio en el Brasil. Liais hace en su *Espacio celeste* el relato de una tempestad que observó en Rio Janeiro el 30 de enero de 1859. «A las siete, dice, empezó á relampaguear por el este, y á las siete y diez minutos habia estallado la tempestad con toda su fuerza. En aquel momento veíanse continuamente, con intervalos de uno á dos segundos, relámpagos tortuosos, de los cuales se bifurcaba más de la tercera parte..... Además de los relámpagos bifurcados y de los de tres ó cuatro ramas, que eran tambien *muy frecuentes*, apénas trascurria un minuto sin que se viera lo que podria llamarse relámpagos arborescentes. Eran unos relámpagos que se dividian en muchos brazos principales, los cuales se subdividian á su vez en una multitud de ramitas. Uno de ellos, en el que me fijé más particularmente y que parecia propagarse al descender, se dividió primero en tres partes, que se subdividieron en seguida hasta formar quince entre todas.

»He observado tambien relámpagos de mucho mayor número de brazos, y tan numerosos que la totalidad de los detalles no podia grabarse en la imaginacion. El más notable de estos era radiante y no arborescente, es decir, que se propagó en todas direcciones á la vez, partiendo de un centro, del cual salieron seis brazos, subdividiéndose en una porcion de brazos secundarios.»

El color de los relámpagos es blanco deslumbrador; sin embargo, con frecuencia presentan una tinta lívida, ó purpúrea y más rara vez verdosa. El color morado es el de la chispa en los gases enrarecidos, y Kæmtz ha observado que era tambien el de los relámpagos muy altos y que brotaban en las regiones en que el aire es ménos denso.

Arago, en su *Tratado del Rayo*, divide los relámpagos en tres clases: la primera comprende los de que acabamos de hablar y que se designan en Italia con el nombre de *saette*. «Segun una opinion muy difundida, dice, así entre los físicos como en la masa del público, estos serán principal si no exclusivamente las *saette*, los relámpagos *reducidos*, en forma de

surco, en *zigzag*, que llevan consigo el incendio y la destruccion, relámpagos que deben constituir el *rayo* propiamente dicho.» En la segunda clase comprende los relámpagos cuya luz, «en vez de concentrarse en trazos sinuosos, casi sin anchura aparente, abarca, por el contrario, inmensas superficies, y no tiene la blancura ni la vivacidad de la de los relámpagos fulminantes. Su color es con frecuencia *encarnado muy intenso*, aunque de vez en cuando lo tienen *azul ó morado*.» Es probable que muchos relámpagos de esta segunda clase no sean tales sino en la apariencia y que pertenezcan en realidad á la primera; basta que el rastro luminoso brote detrás de espesas masas de nubes que lo velen á la vista del observador, en cuyo caso sólo aparecen iluminados los contornos de estas nubes. Los verdaderos relámpagos de segunda clase tienen sin duda por orígen ciertas descargas parciales que estallan entre

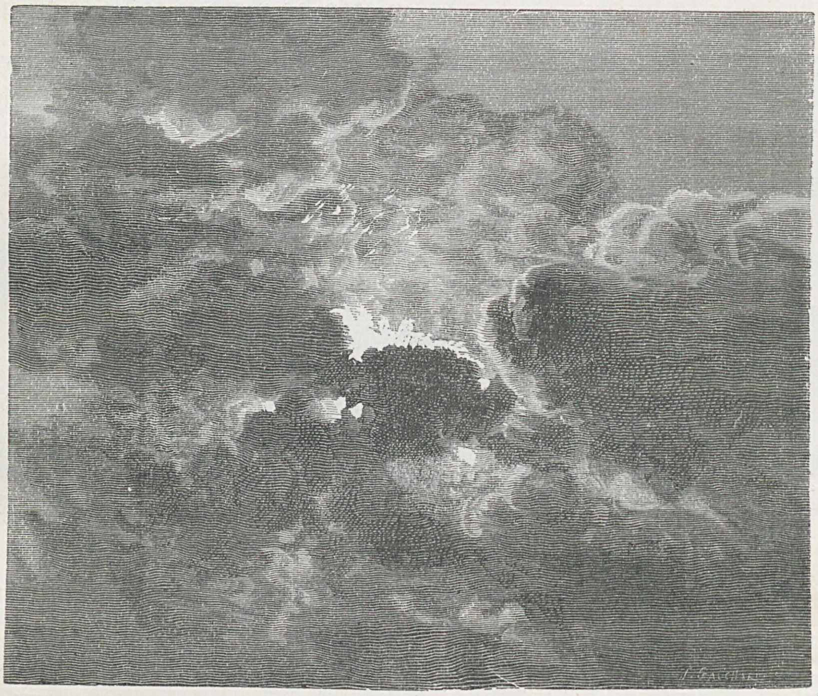


Fig. 247.—Relámpago difuso

las partes interiores de una misma nube; se los compara con los fulgores que se notan en una placa de vidrio humedecida cuando se hace uso de ella para descargar una máquina eléctrica. La tercera clase de relámpagos comprende los en forma de *bola*, designados tambien con el nombre de *rayo globular;* esta forma particular de la luz eléctrica en las tempestades es más rara que las otras dos, de las cuales se distingue tambien por la lentitud de su movimiento ó por su duracion que excede con mucho de la de los relámpagos ordinarios. El caso siguiente, que tomamos de Peltier, dará una idea de la singularidad del fenómeno del rayo globular.

«Durante una violenta tempestad que estalló el 28 de agosto de 1839, cayó un rayo en el patio de la oficina central de arbitrios municipales de Paris, que estaba aún sin concluir. Aquel rayo tenia la forma de un grueso globo de fuego, y dejaba tras sí un rastro de vapor; al llegar al suelo, recien removido, abrió en él un hoyo de 18 centímetros de diámetro: agitóse en él violentamente girando sobre sí mismo, levantó la tierra, rebotó para volver á caer tres metros más allá, abriendo un nuevo hoyo y agitándose como ántes. En seguida saltó á la pared de cerca, por cuyo borde se corrió en una longitud de 30 metros, y al llegar á la esquina, enfrente del hospital de San Luis, aquel globo, muy reducido ya, se lanzó á la calle mojada de lluvia, arrastróse por el empedrado serpeando, atravesó la puerta cochera del hospital y desapareció en medio del patio, enfrente de la iglesia. Conforme iba pasando tiempo, su masa menguaba; cuando llegó en medio del patio del hospital de San Luis, no era más que una tira delgada, poco luminosa, que desapareció de pronto. En el momento de caer en el patio de la oficina de arbitrios municipales, todos los trabajadores y empleados que se habian guare-

cido en los cobertizos sintieron una fuerte conmocion eléctrica, así como un desagradable olor sulfuroso que el meteoro dejó tras sí.»

De unos veinte casos de rayo globular mencionados por Arago, cinco han ofrecido la particularidad de que el globo estallara con fuerte detonacion al final de su carrera. El rayo que causó la muerte del físico Richmann tenia la forma de un globo de fuego.

Mucho tiempo habia trascurrido sin que se pudiera dar con la explicacion de esta tercera forma de relámpagos que se observa durante las tormentas. Las chispas sinuosas, angulosas y bifurcadas eran análogas á las descargas eléctricas de nuestras máquinas. No se conocia nada parecido á los globos fulminantes cuya descripcion acaba de leerse, cuando M. Planté obtuvo con sus baterías secundarias los notables efectos luminosos de que hemos tratado en un capítulo anterior. El autor de estos experimentos opina que la naturaleza de los globos fulminantes observados durante las grandes tempestades es verosímilmente la misma que la de las chispas globulares producidas por corrientes eléctricas de gran tension. El vacío causado por el flúido eléctrico da lugar á una aglomeracion de las moléculas del aire y del agua, la cual, no tan sólo se evapora, sino que se descompone á causa de la elevada temperatura desarrollada por el paso de la corriente. Así pues, el globo deberá estar formado «de aire enrarecido incandescente y de los gases que resultan de la descomposicion del vapor de agua, que tambien se halla en estado de enrarecimiento y de incandescencia.» Es probable que á estas materias se agreguen las partículas cósmicas que la corriente encuentra en la atmósfera; pues aunque estas no existan en el aire sino en cantidad mínima, sábese que las que son de orígen mineral, como el hierro, la cal, la sílice, etc., son sustancias dotadas de gran poder de irradiacion, y su incandescencia contribuye sin duda en gran parte al brillo luminoso de los rayos en forma de bola.

A veces acontece que los globos de fuego se multiplican, ya porque el primitivo se divida en fragmentos, ó ya porque vayan cayendo sucesivamente. En este caso el fenómeno constituye una forma especial de relámpagos, llamados por Planté *relámpagos de rosario.* Este físico hizo la observacion siguiente durante una tormenta que hubo en Paris el 18 de agosto de 1876: «A eso de las siete de la mañana, dice, y en el momento en que la tormenta empezaba á descender sobre la ciudad, un relámpago notable entre todos brotó de la nube hácia el suelo describiendo una curva parecida á una S prolongada, siendo visible durante un momento apreciable y formando como un *rosario de cuentas brillantes*, diseminadas á lo largo de un

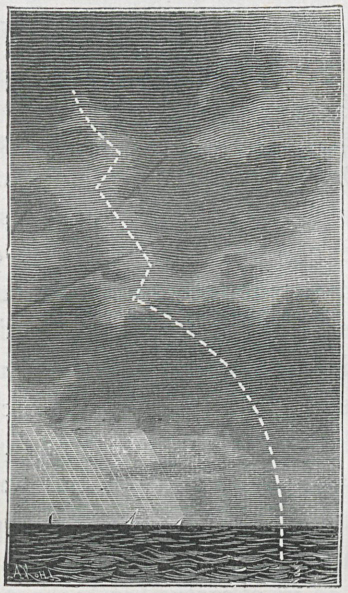


Fig. 248.—Relámpago de rosario

rastro luminoso muy estrecho.» Segun las descripciones de los periódicos, cayeron varios rayos de forma globular. «En mi concepto, añade Planté, esta clase de relámpagos constituye un fenómeno que demuestra la transicion de la forma ordinaria del rayo sinuoso ó rectilíneo á la globular. Y en efecto, se concibe que las cuentas del relámpago puedan adquirir cierto volúmen y dar orígen á globos de fuego. De esta observacion he deducido que los globos fulminantes que caen en mayor ó menor número, seguidos del estampido del trueno, y que desaparecen inmediatamente, pueden considerarse como derivados de un *relámpago de rosario.* Esta formacion de granos luminosos que alternan con rastros de fuego debe ser una consecuencia del paso del flúido eléctrico al través de un medio ponderable, pudiéndosela comparar, ya con el rosario de globitos incandescentes que presenta un largo hilo metálico fundido por una corriente voltaica y cuyos extremos quedan un momento suspendidos en fusion en los polos

de la pila, ó bien con las dilataciones que resultan de la salida de toda vena líquida. Tales aglomeraciones de materia eléctrica y luminosa deben tardar más en disiparse que el mismo rastro de fuego que las enlaza, y así se explica la persistencia del relámpago observado.»

Renou, Van Tricht, Daguin, Joule y otros observadores han notado despues cosas semejantes de relámpagos divididos en puntos ó trazos luminosos distintos, de suerte que parece fundado formar una cuarta clase de relámpagos, intermedia entre la primera y la tercera, la de los *relámpagos de rosario.*

Durante las noches calurosas de verano se suele ver el horizonte surcado de resplandores, de *relámpagos sin trueno*, llamados tambien *relámpagos de calor.* Como entónces no se ven nubes en el cielo, se ha creido por espacio de mucho tiempo que este era un fenómeno especial. En realidad son tormentas ordinarias, demasiado distantes para que los estampidos del trueno puedan franquear la distancia que las separa del observador, miéntras que la luz de los relámpagos, reflejada por las capas superiores de la atmósfera, se distingue fácilmente á esta distancia (1).

Cuando se ve el rastro luminoso de un relámpago de primera clase, por lo comun parece tener una duracion apreciable. No se disipa su imágen sino despues de un intervalo que se calcularia en una fraccion de segundo: pero esto no es más que una impresion causada por la persistencia de la sensacion luminosa en la retina.

Wheatstone ha medido de noche la duracion de los relámpagos, valiéndose de un método muy ingenioso. Al efecto empleaba una rueda que tenia gran número de rayos de plata mate, y á la que hacia girar con gran rapidez sobre su eje. Iluminada súbitamente la rueda por una luz de duracion apreciable, por ejemplo de un décimo de segundo, cada rayo, al avanzar miéntras tanto, parecerá más ancho á causa de la persistencia de las impresiones luminosas en la retina, y el campo de la rueda parecerá más ó ménos continuo. Por esto se nos figura que tiene una multitud de rayos la rueda de un coche que pasa con rapidez á nuestro lado.

Pues bien, por más que Wheatstone aceleró la rapidez de la rotacion, siempre que un relámpago llegaba á iluminar la rueda parecia esta inmóvil, y todos sus rayos en reposo, discerniéndose clara y distintamente; de sus numerosos experimentos dedujo que el relámpago no dura ni siquiera un milésimo de segundo.

La violencia de la descarga que ocurre entre dos nubes tempestuosas produce el ruido que conocemos con el nombre de trueno. Es de notar que el estampido es tanto más brusco y sonoro cuanto más cerca del observador brota el relámpago; pero casi siempre la detonacion va seguida de un fragor prolongado. La causa de esta persistencia del ruido de la descarga dimana probablemente de otras dos. Primeramente, se ha comprobado que los relámpagos suelen tener muchos kilómetros de longitud: sus dos extremos pueden estar más próximos uno de otro que de la persona que escucha, y áun cuando el sonido se produzca á la vez en toda la extension del relámpago, como invierte un segundo en recorrer 340 metros, resultan casi treinta segundos para una diferencia de distancia de 10 kilómetros. Además, el ruido repercute en las nubes y en el suelo, ocasionando ecos más ó ménos prolongados. La forma de los relámpagos angulosos explica tambien en qué consiste que el estampido del trueno se debilite de una manera continua, y que miéntras dura se le oiga redoblar en fuerza muchas veces.

Nadie ignora que entre el momento en que brilla el rayo y aquel en que estalla el trueno, trascurre más ó ménos tiempo, y se comprende que este intervalo tenga por causa la considerable diferencia que existe entre la velocidad de la luz y la del sonido. Valuando exactamente la duracion de este intervalo, se puede deducir de ella en virtud de un cálculo muy sencillo, la distancia que separa al observador del punto más inmediato del relámpago. Tomando la velocidad del sonido á la temperatura de 15° ó sea 340 metros, bastará multiplicar este número por el que marca el de los segundos trascurridos. Arago menciona una observacion hecha por de Lisle en 1712, segun la cual debe de mediar un inter-

(1) Supongamos dos puntos distantes entre sí 111 kilómetros, ó un grado medio. Uno de los horizontes está 971 más alto que el otro. Síguese de aquí que un relámpago que brote á la altura vertical de un kilómetro es visible en la otra estacion. Con mayor motivo lo serán los que estallen á 2 ó 3 kilómetros de altura ó sean reflejados por nubes que se hallen á igual altitud. La refraccion confirma tambien esta posibilidad. Pues bien, á mucha ménos distancia deja de ser perceptible el ruido del trueno.

valo de 72 segundos entre el relámpago y el estampido del trueno; lo cual da una distancia de más de 24 kilómetros entre la nube y el observador.

Si se considera el fragor del trueno como exclusivamente ocasionado por la duracion de la propagacion del sonido en toda la extension de la línea en que ha brillado el fulgor del relámpago, anotando la duracion de este fragor se podrá deducir de ella un mínimum de la longitud en cuestion. Y en efecto, esta duracion no es entónces otra cosa sino la diferencia entre el tiempo que invierte el sonido en llegar en línea recta desde los extremos A y E del relámpago hasta el oído del observador. Multiplicándola por 340 metros se tendria la diferencia de las dos líneas E O y A O. Pero la línea recta E O es mayor que esta diferencia; á *fortiori* lo propio sucede con el relámpago con sus ángulos y sinuosidades. Se han observado truenos cuyo fragor duraba hasta 45 segundos. En este caso y en la hipótesis de que hemos partido, da el cálculo 15 kilómetros como longitud mínima del relámpago.

El ruido del trueno es evidentemente tanto más intenso cuanto menor la distancia á que el observador se encuentra del relámpago, pero tambien es indudable que existe cierta diferencia característica entre los truenos. Cuando cae un rayo, es decir, cuando sobreviene la descarga eléctrica, no de una nube á otra, sino de la nube á la tierra, la detonacion es brusca, á sacudidas;

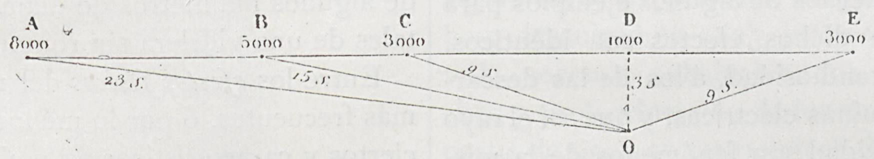


Fig. 249.—Medida de la longitud de los relámpagos

son estallidos, crujidos formidables, indicios evidentes de la violencia con que se ha efectuado la recomposicion de la electricidad atmosférica y de la opuesta del suelo.

Pero, tanto en uno como en otro caso, ¿cuál es la causa física del ruido del trueno? (1)

No cabe duda que el fenómeno es de la misma naturaleza que el chasquido de las menores chispas eléctricas: tan sólo difieren en intensidad. La recomposicion de las electricidades ocasiona en el aire y en toda la extension del rastro luminoso, una conmocion, una vibracion que, al propagarse por el medio ambiente, produce el sonido cuya intensidad está en relacion con la masa puesta en movimiento. Se puede explicar esta conmocion de varios modos. Unos creen que la electricidad se abre paso al través de la materia haciendo el vacío tras sí, casi como un proyectil lanzado á toda velocidad. En tal hipótesis, el sonido debe tener por causa la brusca irrupcion del aire, como sucede en el experimento del rompe-vejigas. A Pouillet le parecia esta explicacion insuficiente, y hacia observar que el paso de una bala de cañon por el aire sólo producia un silbido, pero nada que se asemejara al ruido del trueno. Hé aquí la explicacion que daba dicho físico: «Cuando la chispa brota entre dos cuerpos, hay descomposicion y recomposicion de la electricidad entre todas las capas en que estalla, y por consiguiente vibracion más ó ménos violenta en su materia ponderable; es una especie de desgarro ó de brusca separacion, como se ve en el experimento del taladra-cartas; es una vibracion que ocasiona el ruido, propagándose en seguida por toda la masa circundante.» Planté supone que el vacío producido en la masa de materia ponderable atravesada y enrarecida por la descarga es el que da orígen al estampido del trueno. Y añade: «Pero mucho tiempo se ha venido preguntando: ¿cómo produce la electricidad el vacío? A lo

(1) Los antiguos, que no conocian la electricidad, no veian en el trueno más que el resultado de un choque puramente mecánico. Séneca, partiendo de la circunstancia de que al juntar con fuerza las manos producen un ruido sonoro, dedujo de ella que la colision de dos nubes enormes debe resonar con inmenso estruendo; y compara el trueno, cuyo sonido es agudo y hasta agrio, con el estallido de una vejiga que se rompe en la cabeza de álguien. Lucrecio cree tambien que el trueno consiste en el choque de las nubes. «Otra razon, dice, por la cual parece que el trueno trastorna al mundo con tan horribles sacudidas, hasta el punto de creerse á veces que va á derrumbarse la inmensa máquina de la naturaleza, la tenemos en cuando un huracan, formado de un conjunto de vientos impetuosos se engolfa en las nubes, y encerrado en ellas, amontona sin cesar con sus torbellinos nube sobre nube haciendo que quede un hueco en el centro de este espesor. Luégo, cuando su violencia y su impetuosa energía lo ha trastornado todo, se lanza y se aleja con aterrador estrépito, lo cual no es de extrañar, por cuanto si revienta de pronto una pequeña vejiga llena de aire, produce un ruido semejante.» Para Descartes, la explicacion del trueno es análoga á la del ruido que hacen los aludes; las nubes más altas se precipitan sobre las más bajas. En el fondo, esta es la opinion de Séneca.

cual contestaré sencillamente, fundado en mis propios experimentos: En virtud de la poderosa é instantánea accion calorífica desarrollada por la electricidad y que vaporiza cuanta materia encuentra esta á su paso.»

III

EFECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y FISIOLÓGICOS DEL RAYO

Cuando la electricidad atmosférica se nos da á conocer en forma de relámpago, trueno ó rayo, son tan asombrosamente variados sus efectos, tan prodigiosamente raros y en apariencia tan difíciles de explicar, que se necesitaria un volúmen entero para describirlos y comentarlos. Por esta razon lo único que haremos aquí es valernos de algunos ejemplos para demostrar que dichos efectos son idénticos, aparte de su grandiosidad, á los de las descargas de las máquinas eléctricas, y que así el rayo como la electricidad son fenómenos de la misma naturaleza.

Hablemos primeramente de los *efectos mecánicos*, que comprenden los extremos, esto es, fenómenos de inaudita violencia y otros de delicadeza inconcebible, obras de precision, podria decirse. Hé aquí algunos casos mencionados por Arago en su *Tratado del rayo*:

«En la noche del 14 al 15 de abril de 1718, un rayo voló el tejado y las paredes de la iglesia de Couesnon, cerca de Brest, como los hubiera podido volar una mina, habiendo ido á parar las piedras en todas direcciones hasta 51 metros de distancia. El 6 de agosto de 1809 produjo el rayo notables efectos mecánicos en una parte de la casa de M. Childwick, situada en Swinton, á unas 5 millas de Manchester. A las dos de la tarde, despues de haberse oido muchas veces el fragor de lejanos truenos que parecian cada vez más próximos, resonó una explosion formidable, seguida inmediatamente de torrentes de lluvia. Por espacio de algunos minutos la casa estuvo rodeada de un vapor sulfuroso. La parte exterior de la casa, la bodega y la cisterna fueron arrancadas de cuajo y levantadas en masa; la explosion las llevó verticalmente sin derrumbarlas á alguna distancia del sitio que ántes ocupaban. Uno de los extremos de la pared habia avanzado 9 piés y el otro 4. La pared, levantada y trasportada de tal suerte, se componia, sin contar la argamasa, de 7,000 ladrillos, y pesaria unas 26 toneladas.» Hé aquí otro caso análogo citado por M. Daguin: «En 1852, un rayo rompió en Cherburgo el palo macho de un buque desarmado; un fragmento de 2 metros de largo y de 20 centímetros de ancho fué despedido con tal fuerza que dió á 90 metros de distancia en un mamparo de roble de 3 centímetros de espesor, en el cual penetró por su extremo más grueso, agujereándolo cual pudiera hacerlo una bala de cañon.»

Podian contarse á millares los efectos destructores de los rayos, aunque por otra parte, á veces sólo dejan huellas casi imperceptibles de su paso, abriendo por ejemplo muchos agujeros de algunos milímetros de diámetro en los cristales de una vidriera sin romperlos.

Entre los *efectos físicos* del rayo, uno de los más frecuentes, ó por lo ménos uno de los más ciertos y característicos es la *fusion de los metales*. Si Séneca, Plinio y Lucrecio, dejándose llevar de su imaginacion, han dicho que «el rayo funde la espada en la vaina, el dinero en la bolsa, y derrite el hierro del venablo de modo que corre á lo largo del astil, sin que la vaina, ni la bolsa ni el astil se quemen, y que disuelve el bronce y hace hervir el oro,» por lo ménos algunos observadores dignos de crédito han comprobado que el rayo es capaz de fundir y volatilizar alambres, y de soldar entre sí los eslabones de una cadena de hierro. En 1827 cayó uno en el vapor *New-York*, fundiendo la punta del para-rayos que formaba un cono de 30 centímetros de longitud por 6 milímetros de diámetro en la base; habiendo hecho lo propio con la cadena que iba á parar desde dicha punta al mar y que consistia en una serie de alambres de 6 milímetros de diámetro y 45 centímetros de longitud unidos entre sí por anillos intermedios. Esta cadena iba oblicuamente al mar desde el tope del palo de mesana, y su longitud no bajaria de 40 metros. Todo cuanto quedó, todo lo que se encontró de ella despues de caer el rayo no llegó á *un metro*. Unos 8 centímetros de esta cadena quedaron unidos á la base de la varilla metálica superior: lo que se recogió en la proa del buque se redujo á dos ganchos con el anillo intermedio completamente abollados, y un pedacito de eslabon.» Des-

pues de la explosion, la cubierta del *New-York* quedó llena de granitos de hierro que quemaron la madera en cincuenta sitios diferentes, á pesar de caer en aquel momento una lluvia torrencial, y de que en casi todas partes llegaba el granizo á 6 ú 8 centímetros de altura.

Franklin vió en 1787, en su propia casa de Filadelfia, que un rayo habia fundido una varilla cónica de cobre de 24 centímetros de largo y 8 milímetros de diámetro en la base y volatilizado un alambre del grueso de una aguja de

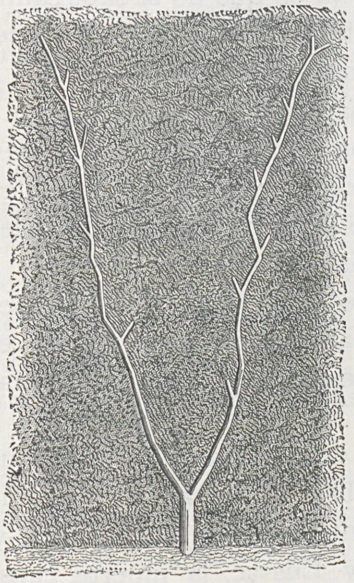


Fig. 250.—Fulgurita

hacer media y de 6 metros de largo. Podríamos multiplicar las citas de ejemplos análogos.

Un efecto de fusion sumamente curioso es el que produce el paso de la chispa eléctrica por los terrenos arenosos y húmedos. El pastor protestante Herman descubrió en 1711 en Silesia las *fulguritas* ó *tubos de rayo*, que el doctor Hentzen reconoció de nuevo en 1805, indicando su verdadero orígen. Consisten en cilindros ó conos, huecos con frecuencia, cuyas paredes son de una materia vitrificada, enteramente lisa en el interior y rodeada exteriormente de una costra compuesta de granos de cuarzo aglutinados. Por lo regular el tubo es uno solo, hundido verticalmente en la arena, y á veces de 10 metros de longitud. Tambien suele presentarse oblicuo al horizonte, ó se divide en dos ó tres brazos principales, cada uno de los cuales se subdivide en ramas laterales de una longitud que varía entre 3 y 30 centímetros. «La corteza exterior de las fulguritas, dice Arago, es redondeada á veces; con frecuencia presenta una serie de asperezas muy parecidas por su aspecto á las rugosidades de que están llenas las ramitas del olmo de Holanda, ó á la corteza grieteada del tronco de los abedules añosos. Las irregularidades del canal vítreo corresponden á las de la superficie exterior, pareciendo, en fin, como si el tubo en fusion hubiera sido *doblado totalmente* en todos sentidos. Examinados con un anteojo de aumento los granos negros y blancos que componen la costra exterior de las fulguritas, parecen redondeados como si hubieran experimentado un principio de fusion.»

En muchas ocasiones se ha visto que habia fulguritas en los puntos en que acababa de caer algun rayo. El profesor Hagen de Koenigsberg descubrió en 1823, junto á un árbol alcanzado por una exhalacion, dos agujeros estrechos y profundos, uno de los cuales contenia, á partir de unos 30 centímetros de profundidad, un tubo vitrificado.

Por otra parte, se han hecho artificialmente tubos parecidos á las fulguritas descargando fuertes baterías eléctricas al través de capas de arena mezcladas con sal ó con vidrio machacado. Estos experimentos los han hecho más especialmente Beudant, Hachette y Savart con la gran batería del Conservatorio de Artes y Oficios de Paris.

Ya hemos tenido ocasion de decir que la chispa eléctrica influye en las agujas de las brújulas, alterando ó destruyendo su magnetismo. Este es uno de los efectos físicos más peligrosos, por lo ménos para los buques en los que cae un rayo cuando navegan por alta mar, y cuya direccion y marcha pueden sufrir desagradables modificaciones por esta causa. Cítanse barcos cuyas brújulas se contrapolizaron, habiendo pasado el norte al sur y viceversa; y otros, que, por efecto del mismo meteoro, se quedaron con sus brújulas vueltas constantemente al noroeste, al nornoroeste, al sudoeste, etc. «En 1675, dice Arago, dos embarcaciones inglesas navegaban de conserva durante un viaje de Lóndres á la Barbada. A la altura de las Bermudas, un rayo rompió el palo y desgarró las velas de una de ellas; la otra no recibió daño alguno. Habiendo observado el capitan de esta que el primer buque

viraba de bordo, como si quisiera volver á Inglaterra, le preguntó la causa de tan brusca determinacion y supo, no sin asombro, que su compañero creia seguir aún el primer rumbo. Entónces se examinó detenidamente las brújulas del buque alcanzado por el rayo, y se vió que las flores de lis de las rosas de vientos que, como es regular, se dirigian ántes al norte, marcaban el sur, de suerte que el rayo habia trastrocado enteramente los polos, y así continuaron todo el resto del viaje.»

Hase reconocido tambien otra clase de perturbacion producida por el rayo, y de la que puede resultar no ménos peligro para los navegantes. Dicha perturbacion consiste en la imantacion de las piezas de acero de los cronómetros y particularmente de su péndulo. Así fué que los cronómetros del vapor *New York* del que hemos hablado ántes, adelantaban al llegar el buque á Liverpool, 33 minutos 58 segundos sobre el tiempo que hubieran debido marcar, en el caso de que el rayo hubiese respetado el barco.

La chispa eléctrica, que es capaz de fundir metales ú otras sustancias refractarias, ocasiona tambien *combinaciones químicas* en el seno de la atmósfera surcada por ella, lo cual se comprende fácilmente, toda vez que, segun hemos visto, produce la síntesis del agua en el eudiómetro. Liebig ha reconocido que el agua de lluvia recogida despues de una tormenta contiene nitratos de amoniaco ó de cal, en mucha mayor proporcion que la lluvia ordinaria. De esto se ha deducido que el nitrógeno del aire se ha combinado con el oxígeno por efecto de las descargas atmosféricas; creyéndose que el ácido nítrico así formado es el orígen de las salitreras artificiales, y así parece corroborarlo el hecho observado por Boussingault de que el salitre que se encuentra en América en las inmediaciones de Rio Bamba es mucho más abundante en las localidades en que descargan frecuentes tormentas.

El olor pronunciado que deja el rayo en los sitios en que ha causado sus estragos, ha sido comparado muy á menudo con el que exhala la combustion de materias sulfurosas. Este olor es complejo sin duda, siendo probable que se componga del ozono, que segun hemos visto es característico de las descargas eléctricas, y de otros olores que proceden de las materias orgánicas ó de otra clase que encuentra el rayo á su paso. Puede suceder que, entre estas materias, haya algunas combinadas con azufre, y que, descompuestas por la elevada temperatura de la chispa, produzcan ácido sulfuroso, justificando así la denominacion general admitida por los observadores; pero es más probable, conforme lo ha hecho observar Boussingault (1), que la costumbre de designar con el epíteto de *sulfuroso* el olor dejado por los rayos, consista en que no se sabe calificar de otro modo cualquier hedor fuerte y nauseabundo de orígen desconocido.

Terminaremos este artículo con la sucinta descripcion de los *efectos fisiológicos* del rayo, que son con mucho los más terribles.

El rayo mata ó hiere gravemente á los hombres ó animales que se encuentran á su paso. Unas veces, los cadáveres no presentan lesion alguna aparente; otras se ven en ellos llagas, contusiones, quemaduras en forma de largos surcos de los que ha desaparecido la piel. En el primer caso, la autopsia indica una congestion cerebral ó derrames sanguíneos en los órganos internos. En una palabra, y segun ha dicho Gay Lussac, la muerte causada por el rayo es, ó la parálisis del sistema nervioso, ó bien la lesion de los órganos ó del sistema vascular. Se ha observado que los cadáveres de los fulminados entran rápidamente en descomposicion, como sucede con frecuencia en los

(1) Al dar cuenta este físico á la Academia de Ciencias de los efectos de un rayo, que habia hendido y carbonizado en parte el tronco de un peral, añade lo siguiente: «Este rayo no tuvo nada de particular, y hubiera prescindido de hablar de él á no ser por esta circunstancia: un hombre advirtió el fuego á las cuatro de la mañana y llevó la noticia al dueño del árbol, asegurando que el peral exhalaba un olor de azufre insoportable. Cuantas personas vieron dicho árbol despues que hubo cesado de arder estuvieron contestes en percibir olor sulfuroso, y la que me acompañaba participó y participa aún de esta opinion, pues no conseguí convencerla de lo contrario. Puedo afirmar, sin embargo, que el penetrante olor que difundian las partes carbonizadas del peral cuando yo lo examiné, no era en modo alguno sulfuroso, sino que más bien se parecia al que se nota en las fábricas en las que se destila vinagre de la madera; no siendo fácil confundirlo con otro. Más de una vez he tenido que habérmelas con los rayos: en cierta ocasion uno de estos mató á un negro junto á mí; la casa en que yo vivia en Zupia fué abrasada por otro; siete veces los he visto caer en los árboles; y en Europa, cayó uno en mi cuarto. Colocado tan á menudo en las más favorables circunstancias para observar bien, ¿no es extraño que jamás haya advertido el olor del ácido sulfuroso? Creo que todo el mundo se inclina en demasía á tomar por vapores sulfurosos todos los olores penetrantes, nauseabundos, que se desarrollan necesariamente siempre que se somete á un cuerpo orgánico al calor intenso que puede ocasionar el paso de la electricidad.»

casos de muerte repentina. ¿Hay en ello una accion descomponente propia de la electricidad, ó bien dimanará la corrupcion de la carne del calor húmedo en los tiempos tormentosos? Se asegura que la sangre extraida de las venas de las personas muertas de este modo ha perdido la propiedad de coagularse.

Parece que ciertas personas están más expuestas que otras á ser heridas ó muertas por el rayo. Las mujeres lo están ménos que los hombres: segun una estadística de las víctimas del rayo en Francia, hecha por el doctor Boudin y comprensiva del período de 1835 á 1863, hubo 2238 muertes, y de los 880 muertos en los diez últimos años de este período, 243 eran mujeres, es decir, sólo el 27 por 100. Aquí hay una inmunidad fisiológica especial para las mujeres, ó tal vez consistirá la diferencia en que los hombres están más expuestos á los rayos por sus ocupaciones ó por sus imprudencias. Cítanse casos de rebaños de carneros totalmente exterminados por el rayo, saliendo ileso el pastor á pesar de estar en medio de su ganado.

Las personas heridas por la chispa eléctrica no ven el relámpago ni oyen el trueno, por lo ménos así lo han dicho cuantas han podido recobrar el conocimiento por no haber experimentado otros efectos sino el desmayo consiguiente ó una ligera herida. Cuando la catástrofe, famosa en los fastos del rayo, que en julio de 1819 costó la vida á 9 personas y de la que resultaron 82 heridas en la iglesia de Chateauneuf-de-Moustiers, dirigióse á la Academia de Ciencias una relacion circunstanciada del caso, la cual contiene interesantes detalles que vamos á reproducir en parte.

«El domingo 11 de julio de 1819, M. Salomé, cura de Moustiers y delegado episcopal, fué á Chateauneuf para dar posesion á un nuevo rector. A eso de las diez y media, se trasladaron en procesion desde la casa rectoral á la iglesia. Hacia buen tiempo y sólo se veia alguno que otro nubarron. El nuevo rector empezó á decir misa.

»Estaba cantando la epístola un jóven de 18 años que habia acompañado al cura de Moustiers, cuando de pronto se oyeron tres truenos que se sucedieron con la rapidez del relámpago. El flúido eléctrico arrancó el misal de las manos de aquel jóven, haciéndolo pedazos; y éste se sintió estrechamente rodeado por la llama, que le quemó el cuello. Entónces, dicho jóven, que al pronto lanzara terribles gritos, cerró involuntariamente la boca, y fué derribado y arrojado sobre las personas congregadas en la iglesia, que á su vez habian caido al suelo ó sido lanzadas fuera del templo. Al volver en sí, lo primero que se le ocurrió fué entrar de nuevo en la iglesia para ir en busca del cura de Moustiers, á quien encontró asfixiado y sin conocimiento. El jóven se dedicó á auxiliar al anciano y respetable sacerdote juntamente con los que, ligeramente heridos, podian ayudarle en su tarea. Le levantaron, apagaron la sobrepelliz que estaba ardiendo, y dándole fricciones con vinagre, lograron hacerle recobrar el sentido á las dos horas de haberlo perdido. El pobre sacerdote vomitó mucha sangre, y aseguró que ni habia oido el trueno ni tenia idea de lo que habia pasado. La chispa eléctrica le quemó el galon de oro de la estola, le arrancó un zapato que fué á parar al otro extremo de la iglesia y rompió la hebilla de metal. La silla en que estaba sentado tambien quedó hecha pedazos.

»Al dia siguiente trasladaron al cura de Moustiers á su casa, donde le curaron sus heridas, que tardaron dos meses en cicatrizarse. Tenia una gran escara en el hombro derecho; otra llegaba desde el medio posterior del brazo del mismo lado hasta la parte media y exterior del antebrazo; otra más profunda partia de la parte media y posterior del brazo izquierdo y terminaba en la parte media del antebrazo del mismo lado; y por fin, otra más superficial y ménos extensa, en el lado externo de la parte inferior del muslo izquierdo, y otra en el labio superior hasta la nariz. Por espacio de dos meses padeció de insomnio absoluto; quedóse con el brazo paralizado (1), y aún hoy se resiente cuando hay mudanza de tiempo.

---

(1) Es curioso ver que el rayo produce en unos casos la parálisis y en otros cura la misma afeccion. M. Daguin cita los dos casos siguientes: «En 1762, el pastor evangélico Winter, que estaba paralítico hacia un año en Kent, recibió una violenta conmocion causada por un rayo que atravesó la habitacion en que se hallaba, y quedó radicalmente curado. En 1819, un vecino de Niort, que padecia un reumatismo agudo en un brazo hacia muchos años, observó que habia desaparecido su dolencia como por encanto, despues de haber sido derribado por un rayo.»

»El rayo arrebató á un niño de los brazos de su madre, lanzándolo seis pasos más allá: no pudo recobrar el sentido sino cuando lo sacaron al aire libre. Todos los que se hallaban en el templo, se quedaron con las piernas paralizadas: las mujeres, despeinadas, ofrecian un aspecto lastimoso. Llenóse la iglesia de una humareda negra y densa; y tanto, que no se podian distinguir los objetos sino á favor de las llamas de las ropas incendiadas por el rayo.

»Ocho personas quedaron en el sitio. Una jóven de diez y nueve años fué trasportada sin conocimiento á su casa y espiró á la mañana siguiente, sufriendo dolores horribles á juzgar por sus gritos; de suerte que las personas muertas son nueve y las heridas ochenta y dos.

»El sacerdote que celebraba salió ileso, sin duda porque llevaba una casulla de seda.

»Todos los perros que habia en la iglesia quedaron muertos en la misma actitud que tenian al sorprenderles el rayo.

»Una mujer que estaba en una cabaña, en la montaña de Barbin, á poniente de Chateauneuf, vió caer sucesivamente tres masas de fuego que al parecer debian reducir la poblacion á cenizas.

»Créese que el rayo cayó primeramente en la cruz del campanario, pues se la encontró hincada en la hendidura de una roca á 16 metros de distancia. En seguida, la chispa penetró en la iglesia por una grieta que abrió en la bóveda, á medio metro de distancia del agujero por donde pasa la cuerda de una campana. El púlpito quedó hecho trizas. Se encontró en la iglesia una excavacion de medio metro de diámetro, prolongada por debajo de los cimientos de la pared hasta el empedrado de la calle, y otra que entraba por debajo de los de una cuadra y en la cual se hallaron muertos cinco carneros y una yegua.

»Cuando el rayo cayó en la iglesia, estaban tocando las campanas.»

La mayor parte de los efectos mecánicos, físicos y fisiológicos del rayo que hemos mencionado anteriormente se hallan reunidos en el notable suceso cuyo relato acaba de leerse. El narrador atribuye á la vestidura aisladora que llevaba el sacerdote celebrante, el que este se librara de figurar en el número de las víctimas; es muy posible que tal sea en efecto la razon de semejante hecho, del mismo modo que el rayo puede caer con preferencia sobre las personas que llevan efectos metálicos, buenos conductores de la electricidad. Pero hay que tener en cuenta que otros casos auténticos parecen contradecir esta clase de suposiciones. Los trajes de materia aisladora no bastan siempre para preservar á los que los llevan, y por otra parte, el rayo suele pasar entre la superficie del cuerpo y los objetos que lo cubren, como si en tan reducida capa de aire, humedecida por la traspiracion, hallara camino más fácil. El 20 de marzo de 1784, cayó un rayo en el teatro de Mantua, y mató dos espectadores é hirió diez, de los cuatrocientos que habia en el local. Entónces se vió un caso sumamente curioso, y fué que «la descarga eléctrica fundió pendientes y llaves de reloj, y rajó diamantes, sin lastimar en lo más mínimo á las personas que los llevaban.»

Los casos extraordinarios, singulares, raros que abundan en la historia de los rayos son sin duda de difícil explicacion, porque para darla científicamente se necesitaria conocer todas las circunstancias relativas al estado físico del medio ambiente y de los objetos que se encontraran en él, condicion siempre imposible de satisfacer; pero ninguno de estos hechos está en positiva contradiccion con las propiedades conocidas de la electricidad. Las condiciones del libre paso del flúido por conductores de capacidad suficiente para que se efectúe su salida sin que de ella resulten efectos destructores, y las condiciones opuestas ó sea aquellas en que tropieza con una resistencia peligrosa para los cuerpos interpuestos, son demasiado complejas y variables en la naturaleza para que se las pueda analizar en todos sus detalles. Así es que la ciencia de la electricidad no se ha constituido procediendo de la observacion de los fenómenos eléctricos de la atmósfera á los experimentos de laboratorio, sino que debia seguir la marcha contraria, y ya sabemos que esta es la que ha seguido en realidad.

IV

FUEGO DE SAN TELMO

Las tormentas propiamente dichas, las tormentas eléctricas, son verdaderos dramas de la atmósfera, que, á lo ménos para un mismo lu-

gar, tienen su prólogo, sus actos y entreactos y su desenlace. Aquí no decimos nada de su propagacion, pues aunque es asunto de gran importancia meteorológica, huelga en lo que tenemos que manifestar aquí. Lo que debe ocuparnos es la manifestacion del fenómeno en tanto cuanto este revele el estado eléctrico de la atmósfera.

Pues bien, aparte de las tormentas definidas de este modo, la electricidad atmosférica engendra otros fenómenos tan interesantes como el rayo. Los antiguos no dejaron de observarlos. César refiere en sus *Comentarios* que en una noche tempestuosa pareció arder el hierro de las picas de la quinta legion. Séneca, Tito Livio y Plutarco cuentan casos análogos, tenidos á la sazon por prodigios, por presagios de los dioses. Cuando en la punta de una verga ó del mástil de un buque aparecia un penacho luminoso solo, era un signo amenazador; entonces se le daba el nombre de *Helena*. Si se presentaban dos llamas á la vez, presagiaban á los navegantes buen tiempo y feliz viaje; entónces eran los *Dioscuros, Cástor y Pólux*, es decir, los dioses tutelares de la navegacion. Refiere Plutarco que en el momento en que la escuadra del general lacedemonio Lisandro salió del puerto de Lampsaco para trabar combate con la ateniense, aparecieron en los dos costados de la galera en que iba este general los dos fuegos llamados las estrellas de Cástor y Pólux. La supersticion tomó otro rumbo en la edad media, prolongándose hasta los tiempos modernos; entónces era el cuerpo de un santo, el de San Telmo, rodeado de cirios encendidos, el que hacia su aparicion en el buque, presagiando la bonanza.

Esos pálidos fulgores que, durante los temporales, brotan de las partes salientes de los objetos, y en especial de las metálicas, son enteramente análogos á los que Franklin observó por primera vez en el extremo de una punta metálica aproximada á cierta distancia del conductor de una máquina eléctrica. Cítanse muchos y curiosos ejemplos de esta descarga silenciosa de la electricidad atmosférica. Copiemos algunos del *Tratado del rayo* de Arago.

«El 25 de enero de 1822, M. de Thielaw se encaminaba á Freyberg en ocasion en que nevaba copiosamente, y observó que las puntas de las ramas de todos los árboles despedian resplandores, pareciendo la luz ligeramente azulada.

»El 14 de enero de 1824, *despues* de una tormenta M. Maxadorf fijó la vista en un carro de

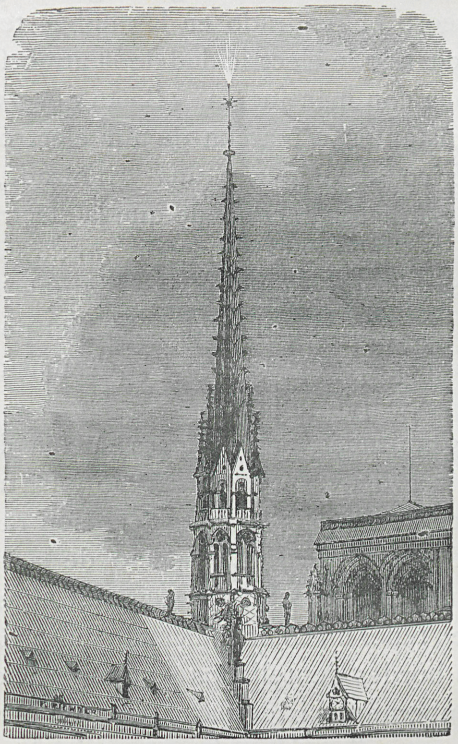


Fig. 251.—Fuego de San Telmo en la punta de la flecha de una torre

paja que estaba debajo de un negro nubarron en medio de un campo cerca de Cothen, y observó que todas las pajas se enderezaban y parecian inflamadas, y hasta el látigo del carretero despedia una luz muy viva. Este fenómeno, que duró diez minutos, desapareció al llevarse el viento la nube.

»El 8 de mayo de 1831, despues de la puesta del sol, algunos oficiales de artillería y de ingenieros se paseaban con la cabeza descubierta, durante una tormenta, por el terraplen del fuerte de Bab-Azun en Argel. Cada cual, al mirar al que tenia á su lado, observó con asombro que tenia los cabellos erizados y que de sus puntas brotaban resplandores. Cuando dichos oficiales levantaban las manos, tambien les salian resplandores de las puntas de los dedos.»

Durante algunas tempestades violentas, se han visto las gotas de lluvia chispear al tocar en el suelo; la escarcha y los copos de nieve han presentado á veces el mismo fenómeno.

V

EL GRANIZO: DESCRIPCION DEL METEORO

Si no todos los físicos están contestes acerca del orígen ó las causas de la formacion del granizo, no puede sin embargo negarse que es un meteoro engendrado en las nubes tempestuosas cuando la electricidad de la atmósfera se desarrolla con más fuerza. «Basta observar algunos instantes la marcha de un electrómetro atmosférico al empezar una granizada, dice Arago, para convencerse de que la electricidad cambia entónces con frecuencia, no tan sólo de intensidad, sino tambien de naturaleza; no siendo raro ver que el flúido pasa del polo positivo al negativo y de éste á aquél hasta diez ó doce veces por minuto.»

Las granizadas más copiosas suelen descargar en la primavera, en el verano y las más de las veces de dia; sin embargo, no son raras de noche ó al amanecer. El aspecto de las nubes de granizo difiere del de las tempestuosas ordinarias en tener un color ceniciento más marcado, con sus bordes dentellados y su superficie llena de protuberancias irregulares, como si estuviera llena de ampollas. Una circunstancia observada con frecuencia es que estas nubes se amontonan con vientos contrarios que soplan con fuerza de dos puntos opuestos del horizonte. Las nubes de granizo no suelen estar muy altas. «Más de una vez, dice Arago, se han visto nubes que á los pocos momentos debian arrojar torrentes de granizo, cubriendo como un denso velo toda la extension de un valle, en tanto que las colinas inmediatas disfrutaban á la vez de un cielo puro y de suave temperatura.»

Pocos momentos ántes de descargar una granizada, se percibe en las nubes un ruido singular, una especie de crujido, al que se ha comparado con el de una carreta que rueda por un terreno pedregoso, y tambien con el que produce un saco de nueces al removerlo ó vaciarlo. Este ruido precursor del azote, que los campesinos conocen tan bien como los meteorologistas, es á veces tan intenso que predomina sobre el fragor del trueno. Hallándose Peltier en Ham al acercarse una tormenta, oyó un ruido tan fuerte que se le figuró que un escuadron de caballería llegaba á galope á la plaza de la poblacion. Pero no era así, pues apénas trascurrieron veinte segundos cuando una espantosa granizada vino á darle la explicacion del fenómeno.

No tan sólo se conoce el carácter eminentemente eléctrico de las granizadas en las señales precursoras de estas, tales como las de que habla Arago, sino tambien en las múltiples descargas que ocurren en las nubes tormentosas, entre las capas superpuestas impelidas por las corrientes opuestas de que ántes hemos tratado. El 7 de mayo de 1865, una granizada devastó el valle del Escalda; el ingeniero M. Lermoyez ha descrito sus peripecias en una nota dirigida á la Academia de Ciencias, en cuya nota se lee lo que sigue: «A las tres asomaron por el sudoeste densos nubarrones formados de capas superpuestas, y al poco rato retumbó el trueno. Por encima de su masa descollaba un espeso cúmulus de un color blanco lívido, en el cual *chisporroteaban continuamente los relámpagos;* debajo, muchas capas de nubes de oscuras tintas, formaban, acercándose al suelo, una ancha base á esta especie de pirámide. El fragor del trueno era incesante, pero sin intensidad ni estruendo; un hormigueo no interrumpido de relámpagos engendraba una especie de decrepitacion sin intermitencia, y las explosiones parecian concentrarse en el interior del nubarron más denso.»

Diez años despues otra granizada asolaba el valle del Ródano, y M. Colladon daba los detalles siguientes sobre los fenómenos eléctricos que acompañaron á aquel destructor meteoro. «Estos fenómenos, dice, eran muy notables en las partes centrales de la nube de granizo; fulguraban los relámpagos con tal rapidez desde las doce á la una y minutos de la madrugada, que brillaban por término medio de dos á tres por segundo, ó sea de 8,000 á 10,000 por hora... Antes y despues de la granizada se notaron tambien intensos fenómenos de fosforescencia eléctrica, lo mismo en el suelo que en los animales y en todo objeto saliente; y hasta los granizos eran fosforescentes. Inmediatamente despues de la granizada se percibió un olor de ozono muy fuerte, olor que la mayoría de los observadores comparaban con el de ajo. Cayeron muy pocos rayos; pues las continuas descargas eléctricas eran de una nube superior á otras inmediatamente inferiores, de las cuales caia el

granizo, oyéndose tambien muy pocos truenos.»

Tales son los principales caracteres del meteoro en su conjunto; réstanos ahora describir los elementos de la granizada ó sean los *granizos*, que varian de forma, tamaño y estructura de una tormenta á otra, pero que en un mismo chubasco suelen ser de figura parecida.

Consideremos ante todo la granizada en la materia misma que la constituye, en los granos congelados, de formas y dimensiones varias y cuya caida en el suelo caracteriza esencialmente al fenómeno. A veces se confunde el verdadero granizo con otro más menudo y duro llamado *gresil*; sin embargo, entre estos dos productos acuosos y sólidos que nos envia la atmósfera media la diferencia de que el segundo cae en primavera, en la época de los chubascos, y que las borrascas de que procede rara vez tienen el carácter eléctrico de las tormentas de granizo. Además, aparte de su pequeñez relativa, los granos de *gresil* son opacos, de un blanco mate que los hace parecer como si estuviesen espolvoreados de harina, y por último, su forma es más bien poliédrica ó piramidal que esférica.

La estructura de los granizos difiere notablemente de la de los granos de *gresil*. Su semejanza consiste en que en el centro del granizo hay casi siempre una parte opaca, que parece formada por una bolita de nieve, en una palabra, por un grano de *gresil*. Pero este núcleo esponjoso está rodeado de una serie de capas de hielo trasparente, las cuales son á veces alternativamente diáfanas y opacas. Véase cómo describe M. Colladon los granizos que recogió cuando la granizada del 7 de julio de 1875.

«El tamaño de los granizos variaba entre 10 y 30 milímetros, y los de mayor diámetro llegaban á 60 y áun á 100; á las seis horas de caer pesaban muchos más de 300 gramos. Todos estos granizos tenian por centro un núcleo de gresil cuyo diámetro variaba entre 5 y 10 milímetros. Este núcleo estaba rodeado de algunas capas concéntricas alternativamente diáfanas y opacas; habia por término medio 6 ú 8 de estas, siendo las dos últimas mucho más espesas, y la última opaca y llena de protuberancias. Los granizos más gruesos eran aplanados en su mayor parte. En muchos puntos se les ha comparado á gajos de limon, y estos granizos planos debian proceder sin duda alguna de otros más grandes rotos.»

Por este ejemplo se ve las dimensiones y el peso que á veces tienen los granizos. Podrian citarse otros muchos, procedentes de testigos dignos de crédito, y acostumbrados, como el físico que acabamos de nombrar, á hacer observaciones con exactitud y precision. Por ejemplo, el 29 de abril de 1697 cayeron en el Flintshire granizos cuyo peso valuó Halley en 150 gra-

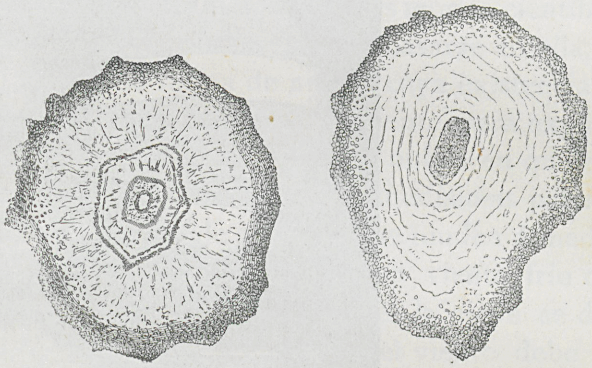


Fig. 252.—Estructura interior de los granizos

mos. Parent, de la Academia de Ciencias, vió caer en mayo de 1703, en la Perche, algunos granizos tamaños como puños. Volta asegura que en una tormenta que estalló en Como y sus alrededores en agosto de 1787, cayeron granizos tan grandes como huevos de gallina, que pesaban hasta 280 gramos.

Y ahora, ¿será cierto que en una granizada que en 1829 causó grandes estragos en Cazorla, España, se recogieron granizos de 2 kilógramos? ¿Debemos dar crédito al relato del misionero Hué que afirma haber visto caer en Mongolia granizos de 6 kilógramos? ¿Es, por último, verosímil que en 1843 cayera en un campo un pedazo de hielo más grande que una piedra de molino, que lo rompieron á hachazos, y que á pesar de estar en lo más fuerte del verano, tardó tres dias en derretirse del todo?

No es imposible que se hayan visto semejantes masas despues de una granizada; pero lo que se tomó por granizos aislados probablemente no seria otra cosa sino la aglomeracion de una multitud de ellos soldados entre sí despues de caer. Citemos algunos ejemplos que autorizan esta interpretacion. «El 11 de julio de 1753, dice Arago, M. Montignol recogió en Toul granizos en forma de poliedros regulares de tres pulgadas (8 centímetros) de diámetro

en todos sentidos. Estos grandes granizos estaban formados por la reunion de otros más pequeños que se habian pegado unos á otros ántes de caer al suelo.» M. Lermoyez, á quien hemos citado con motivo de la granizada del 7 de mayo de 1865, se expresa como sigue acerca de las dimensiones de los granizos. «En Vendhuile tenian el tamaño de una bala de fusil; más allá, en Catelet, eran como huevos de paloma y hasta de gallina, pero examinándolos con atencion, se echaba de ver que no eran más que una aglomeracion de granizos pequeños fáciles de distinguir.» Hasta aquí sólo se trata de granos cuya soldadura se efectuó sin duda ántes de su caida;

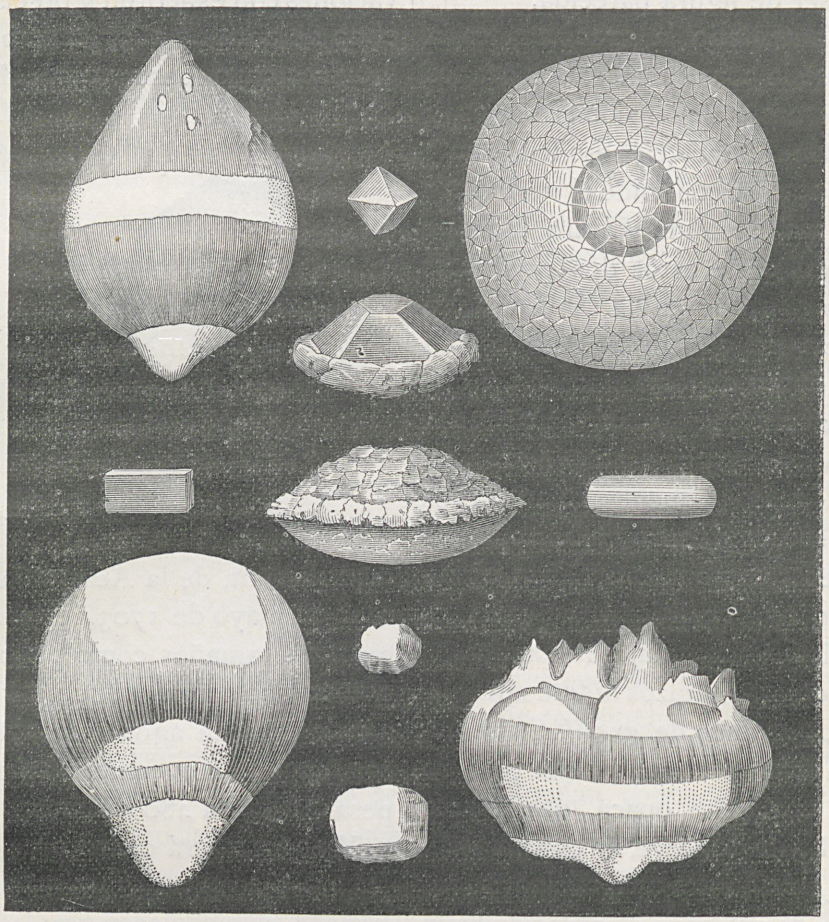


Fig. 253.—Diferentes formas del granizo

mas prosigamos. «Lo más extraordinario está en la incalculable cantidad de granizo que cayó en Vendhuile y en Catelet. Un pequeño contrafoso del canal de San Quintin que sirve para la desecacion de 500 hectáreas de tierra, se llenó en tales términos de agua y de granizo que las oleadas saltaron por encima de los altos caballetes del canal arrastrando un monton de 800 hectólitros de carbon, con el cual se precipitó en el lecho del canal navegable, obstruyéndolo enteramente. Al dia siguiente, ví que este depósito de granizo, que se extendia en una longitud de 462 metros por una anchura de 20, tenia en ciertos puntos más de 5 metros de altura, formando así un volúmen de más de 40,000 metros cúbicos tan compacto que, aunque el nivel del agua de la parte superior del canal era 60 centímetros más alto que el de la inferior, no bajó un milímetro en veinticuatro horas. Aquel depósito era un verdadero glaciar por el cual se podia andar sin riesgo alguno. Cuando logré abrir una zanja para establecer cauces que se lo llevaran, se desprendia en *masas considerables que flotaban en el agua como bancos de hielo.*»

Creemos que esta última frase del ilustrado ingeniero inducirá á creer en el granizo caido en Mongolia, del tamaño de una muela de molino, segun el P. Hué, siquiera con la restriccion de la hipótesis de una aglomeracion de granizos sobrevenida despues de la caida.

Digamos ahora una palabra acerca de la forma y estructura de los granizos. Hemos visto ya que algunos son como pirámides de base curva ó de sector esférico; pero ¿no serán frag-

mentos de granizos que primitivamente fueron de forma esférica? Así parece comprobarlo una observacion del ingeniero geógrafo Delcros. En julio de 1819, recogió éste «muchos granizos enteros en los cuales se notaba un núcleo esférico de un color blanco bastante opaco, que presentaba indicios de capas concéntricas y una envolvente de hielo compacto, que radiaba del centro á la circunferencia y terminaba exteriormente en doce grandes pirámides entre las cuales habia intercaladas otras más pequeñas. Todo ello formaba una masa esférica de 9 centímetros de diámetro.»

Otra forma curiosa del granizo es la de masa redondeada, toscamente esferoidal, pero rodeada de asperezas ó puntas que dan á los granizos el aspecto de guijarros espinosos. La terrible granizada que asoló gran parte de Francia y de los Países Bajos el 13 de julio de 1788, lanzó granos de esta forma tan singular, prolongada y llena de puntas. Se han visto granizos que tenian primeramente la forma de sectores piramidales de seis caras, mas, al cambiar el viento de direccion, la adquirieron de lentes plano-convexas, tan trasparentes y regulares que servian á modo de cristales de aumento, aumentando los objetos sin desfigurarlos.

Dejamos dicho cuáles son los caractéres principales de las granizadas y descrito el aspecto del fenómeno en su conjunto y en sus detalles. Réstanos exponer las principales hipótesis que se han propuesto hasta ahora para explicar los hechos.

VI

TEORÍA DEL GRANIZO

¿Hay alguna teoría del granizo, basada en el análisis de los hechos, de acuerdo con los principios de la física, en una palabra, capaz de explicar todas las circunstancias características del meteoro como la teoría del rocío, esa obra maestra de Wells? Tal es la cuestion que nos queda por examinar.

No cabe negar que Volta fué el primero que trató de resolver el problema en toda su complejidad; sin embargo, las tentativas hechas anteriomente para averiguar en qué consistia el fenómeno, aunque muy incompletas, no dejan de ofrecer interés, porque se advierte en ellas el gérmen de muchas ideas adoptadas por los meteorologistas de este siglo. Citemos algunas de las principales.

Musschenbroek atribuia la formacion del granizo á las *partículas congelantes*, que, difundidas en el aire en ciertas circunstancias, hielan las gotas de lluvia. ¿Qué partículas congelantes son esas, y en qué circunstancias flotan en la atmósfera? El físico mencionado no lo dice: quizás sacara esta opinion del *Tratado de los meteoros* de Descartes. Este gran filósofo, tan poco inclinado al sostener sus teorías científicas á apelar á la observacion, á basarse en ella, ha ideado una forma de nubes, cuya existencia no habia comprobado prácticamente, para explicar el granizo. Supuso que «las nubes en que este se forma se componen de menudísimas partículas de nieve ó de hielo, que se funden á medias y se juntan, sobreviniendo un viento frio que acaba de helarlas; otras veces la nieve se derrite totalmente, y entónces el viento debe ser muy frio para convertir estas gotas de agua en granizo.»

De Ratte, reproduciendo esta hipótesis de Descartes en la *Enciclopedia*, la declara insostenible en su totalidad, fundándose en la razon siguiente. «Nadie ignora hoy que las nubes no son montones de témpanos, sino brumas semejantes á las que con tanta frecuencia vemos levantarse y extenderse por la superficie de la Tierra.» Pero las ascensiones aerostáticas han dado la razon á Descartes, no por su teoría del granizo, insuficiente á todas luces, sino por el hecho de haber, áun en medio del verano, nubes formadas de partículas de hielo. Lo más curioso del caso es que lo único que subsiste hoy de esta hipótesis es precisamente lo que se negaba el siglo pasado. Finalmente, debemos añadir que la teoría de Descartes es la que sirve en la actualidad para explicar la formacion del *gresil*.

La principal dificultad para los físicos del siglo anterior estaba en comprender cómo podia sobrevenir en verano, y á una altura relativamente escasa como es la de las nubes tormentosas, un frio bastante intenso para congelar masas de agua tan considerables como la de los granizos voluminosos. Descartes habia supuesto que soplaba un viento frio, pero sin indicar su orígen. Tampoco era admisible la explicacion de Hamberger, segun el cual «cuando la parte

superior de una nube está directamente opuesta á los rayos del sol y la inferior á la sombra, esta se enfria hasta el extremo de que todas las gotas de agua que la componen y las que las suceden se convierten en hielo.» Mairan hace intervenir la evaporacion, que segun veremos, entra por mucho en la teoría de Volta. El autor de una Memoria premiada en 1752 por la Academia de Burdeos recurre, para explicar la congelacion de los granizos, al frio que resulta de la mezcla de ciertas sustancias químicas.

«El granizo, en su concepto, es una mezcla de agua helada, de sal volátil, de sal concreta y de azufre. Es el resultado de una congelacion artificial parecida á la que todos los dias hacemos valiéndonos de las sales.» De Ratte, que advierte en la disertacion de este autor «ideas muy ingeniosas,» admite tan rara hipótesis, añadiéndole el efecto de la evaporacion, que no confunde con el de un viento frio; luégo explica detenidamente la influencia de las exhalaciones atmosféricas en la formacion de los granizos y en el desarrollo de la electricidad.

Todas estas conjeturas son hoy anticuadas y ni siquiera merecen el nombre de teorías; verdad es que entónces era imposible formular una digna de tal nombre, porque se carecia de observaciones exactas.

Hemos dicho ya que es preciso remontarse á Volta para tener una teoría del granizo fundada en observaciones exactas y basada en razones verdaderamente científicas. Tal como la formuló aquel gran físico, dista mucho de estar á cubierto de toda clase de objeciones, pero forma un todo que se encadena, y cuenta todavía con partidarios, que se creen autorizados á persistir en sus ideas, tanto más cuanto que hasta ahora no se ha propuesto para reemplazarla ninguna teoría tan completa ni tan bien combinada.

Hé aquí en sustancia en qué consiste:

Se pueden distinguir en ella dos partes principales: una que tiene por objeto el explicar el orígen del frio intenso necesario para la formacion de los granizos; otra, el hacer ver cómo estos despues de formados, se sostienen en el aire el tiempo suficiente para adquirir el grosor enorme que con tanta frecuencia se ha observado en ellos. La primera causa, la del frio, es una evaporacion activa; la segunda, la de la suspension y crecimiento de los granizos, es la electricidad de las nubes tempestuosas. Reuniendo Volta á ambas causas las circunstancias conocidas del orígen de las granizadas, se ha esforzado en dar cuenta de todos los detalles del fenómeno. Veamos cómo ha resuelto un problema tan complejo, y en seguida examinaremos si la solucion es ó no admisible.

Supongamos que en la region media de las nubes se forma un nubarron expuesto durante un dia caluroso de verano á la radiacion solar. Segun las repetidas observaciones de Deluc y de Saussure, el aire que se halla encima de dicho nubarron se halla extraordinariamente seco en aquella época y en tal momento del dia. La evaporacion de la superficie superior de la nube, favorecida por la doble condicion de la intensidad considerable de los rayos del sol y de la sequía del medio ambiente, será por tanto muy activa; pero segun Volta, la favorece además otra causa, y aquí empieza la intervencion de la electricidad. Considerando las nubes como formadas de vesículas huecas de envolvente líquida, se hallan casi en estado elástico, y la causa más insignificante tiende á reducirlas á él: ahora bien, las nubes tempestuosas están cargadas de electricidad y los experimentos de los físicos demuestran que la evaporacion de un líquido electrizado es más rápida que la de uno en estado neutro.

Así pues, por todas estas razones hay evaporacion rápida y abundante, así como un enfriamiento considerable, que llegando á las partículas no evaporadas, las congela y las trasforma en copos de nieve, embriones de los futuros granizos.

Una vez formados los núcleos de estos, faltaba explicar su crecimiento. Hasta ahora sólo se trata de un copo de nieve, ó si se quiere, de un grano de *gresil*, que los granizos tienen casi siempre en su centro, segun hemos visto. Anteriormente á Volta, se habia atribuido el aumento de dimensiones de los granizos á las congelaciones sucesivas de las partes acuosas que encontraban en su caida, congelaciones ocasionadas por la baja temperatura del núcleo. Pero es difícil, es imposible admitir que un granizo que al principio apénas tiene el tamaño de un guisante, pueda crecer hasta adquirir el volúmen de una nuez, de un huevo de gallina, durante

el tiempo necesariamente limitado de su caida. Como lo observa Arago, «las nubes tempestuosas están casi siempre muy bajas, y el granizo lanzado por ellas no invierte seguramente un minuto en llegar al suelo. Por esto ha creido Volta necesario suponer que el granizo ya formado permanece en suspension en el espacio no sólo cinco minutos, sino diez, quince, y quizás horas enteras.» Pero ¿cuál es la causa de esta suspension prolongada de unos cuerpos cuyo peso los deberia precipitar á la superficie del suelo? Héla aquí:

Volta la basaba en la existencia simultánea de dos nubes superpuestas; la más baja es la nube tempestuosa de que ya hemos hablado, y que dicho físico supone haberse formado la primera. La otra es el producto del vapor acumulado que la evaporacion de la nube inferior ha empujado á las altas regiones del aire; la temperatura de estas regiones condensa dicho vapor tan luégo como el aire está saturado de él, y da así orígen á la segunda nube. En el artículo anterior hemos visto que la observacion confirma, en parte al ménos, la formacion de esta nueva nube tempestuosa; y á menudo se han visto esos estratos de nubes superpuestas que, segun Volta, se cargan de electricidades contrarias, aconteciendo además, conforme lo ha observado el ilustre físico con un electrómetro atmosférico, que el tránsito de un estado eléctrico al opuesto, del positivo al negativo y recíprocamente, se efectúa en una misma nube en un espacio de tiempo muy breve, pues en un minuto ha contado hasta catorce cambios de este género. Por lo demás, las descargas frecuentes, continuas por decirlo así, que hemos visto y observado en el seno de las nubes de granizo, atestiguan sobradamente la rapidez de estas modificaciones eléctricas.

Admitidos estos puntos, Volta recurria á un experimento muy conocido en todos los gabinetes de física con el nombre de *danza de los muñecos*, y que consiste en el movimiento perpetuo de vaiven de cuerpos pequeños, como bolitas de saúco, entre dos discos metálicos, uno fijado al conductor de una máquina eléctrica y el otro puesto en comunicacion con el suelo. Por idénticas causas debe resultar un movimiento análogo entre los dos estratos de las nubes tempestuosas. Los copos de nieve de la nube inferior, reducidos por el viento al estado de *gresil*, poseen la misma electricidad que esta nube, y por consiguiente son repelidos por ella y atraidos por la superior, de cuya electricidad participan al ponerse en contacto con ella. Repelidos entónces hácia abajo, caen en la nube inferior, y así sucesivamente. Estas oscilaciones duran más ó ménos tiempo, durante el cual los granos de *gresil* crecen á expensas de los vapores vesiculares que condensan y congelan. En tales idas y venidas, los granizos chocan unos con otros y producen ese ruido singular, esa decrepitacion precursora de la caida. Cuando llegan á ser algo voluminosos, ceden al fin á la accion de la gravedad y se precipitan á tierra.

Tal es, en resúmen, la teoría del granizo de Volta. Hemos dicho que no está á cubierto de graves objeciones, y de objeciones basadas en hechos. Por ejemplo, Bellani, discípulo del mismo Volta, hizo observar desde luégo que el granizo no deberia formarse sino de dia, pues el frio que lo produce es efecto de la evaporacion causada por los rayos del sol. Pero hay muchos ejemplos de granizadas descargadas de noche, y Bellani cita en particular una ocurrida en el mes de julio de 1806, la cual empezó ántes de salir el sol, habiendo caido una cantidad prodigiosa de granizo, sin que ningun indicio la hubiera anunciado la víspera en toda la extension del horizonte.

Arago ha formulado en los siguientes términos una objecion teórica más grave. «Segun dice Volta, la primera congelacion de las nubes resulta de la evaporacion que experimenta su superficie superior por efecto de los rayos solares. Si esta evaporacion tuviese alguna analogía con la que el viento produce en la tierra, su consecuencia inmediata seria cierto grado de frio; mas parece muy difícil suponer que la luz solar ó cualquier otra causa calorífica pueda dar lugar á la evaporacion de un líquido sin calentarlo ántes. Pues bien, jamás se puede enfriar un cuerpo calentándolo, hágase intervenir la evaporacion como se quiera.»

Pasemos por alto otras objeciones de detalle que Bellani, Arago, Kaemtz, Pouillet y otros físicos han consignado en sus obras, y consideremos la cuestion bajo otro aspecto que parece haberle pasado desapercibido á Volta. Este es

el del orígen de los dos grupos de nubes que supone nacidos uno de otro, al paso que la observacion nos los muestra independientes, y áun animados casi siempre de movimientos opuestos. Si estuviese probado que las dos capas de nubes que producen la formacion y la caida del granizo tienen un orígen independiente, la primera parte de la teoría de Volta, bastante menoscabada ya por las objeciones anteriormente formuladas, se derrumbaria completamente. Pero es un hecho que resulta de las observaciones; y áun parece que las más de las veces las nubes más altas, los cirri, son las primeras que se forman á considerables alturas en la atmósfera. Sin embargo, desde la ascension aerostática efectuada en 1850 por los señores Bixio y Barral se sabe que otras nubes semejantes se pueden componer enteramente de partículas de hielo, de finas agujas cruzadas ó de copos de nieve. Kaemtz opinaba que en el seno de estas nubes, formadas en regiones de temperatura muy baja, es donde debe buscarse el orígen del frio necesario para la formacion de los granizos. «A medida, dice, que la capa superior de cirrus es más densa y desciende, se forman tambien cumulus que crecen con rapidez extraordinaria. Entónces se reconoce que el viento presenta direcciones opuestas que resultan de la desigual distribucion de las nubes en el cielo, y del descenso de temperatura que va unido á ellas.» En concepto de este meteorologista, la accion de los vientos opuestos que chocan, los torbellinos ascendentes que nacen de este choque, ejercen gran influencia en la condensacion de los vapores acuosos inferiores y en el aumento de volúmen de los granizos.

Lleguemos ahora á una hipótesis que tiene bastante semejanza con las conjeturas de Kaemtz pero más terminantemente formulada. Nos referimos á la nueva teoría del granizo, propuesta por Faye, teoría basada en las consideraciones siguientes, que resumimos en sus rasgos fundamentales. Faye empieza por preguntar cuáles son los caractéres esenciales de las tormentas en que puede formarse el granizo, y deduce que se reducen á tres: 1.° fuerte tension eléctrica de las nubes, que en tiempo normal se hallan en estado neutro; 2.° formacion de masas enormes de hielo en nubes situadas á una altitud en la que por lo comun reina una temperatura superior á cero; 3.° rapidez extraordinaria con que se mueven las nubes de granizo.

Sentados estos tres puntos, gran cantidad de movimiento, produccion continua de hielo, tension eléctrica renovada sin cesar, «¿buscaremos su orígen, dice Faye, en las regiones inferiores, en corrientes ascendentes formadas, no se sabe cómo, en el seno de las capas bajas de la atmósfera? Si así lo hiciésemos, e problema de las tormentas continuaria siendo insoluble; porque en esas regiones bajas reinan: 1.° una calma completa; 2.° un calor bochornoso; 3.° una tension eléctrica insensible. Por consiguiente, hay que buscar en las altas regiones del aire esos tres elementos esenciales de las tormentas.» Básase en primer lugar en el hecho de observacion de que la tension eléctrica aumenta continuamente á medida de la altura en la atmósfera. «El aire de las regiones superiores está sumamente cargado de electricidad positiva, cuyo máximum no ha podido apreciar el observador. En cambio, el aire inmediato al suelo carece de tension, ó si la tiene, es una escasa tension negativa, como la del suelo.» M. Faye considera el globo como si á una altitud que excede de una ó dos leguas estuviese rodeado de una gran capa sumamente electrizada y aislada del depósito comun por las capas de aire inferiores. Esta capa está en continuo movimiento hácia uno y otro polo, perdiendo su electricidad en el suelo por las tormentas ó por las auroras boreales, unas veces ruidosa y otras silenciosamente.

M. Faye se apoya, en segundo lugar, en el hecho que poco há dejamos consignado, esto es, en el de existir, en pleno verano y en las altas regiones del aire, nubes de temperatura muy baja, formadas de finísimas agujas de hielo, así como en el de que los cirri son precursores de las tormentas. «Si por un mecanismo cualquiera, añade, se pudiera hacer bajar el aire superior juntamente con las nubes de hielo á la region inferior de los nimbus, y esto de un modo continuo y persistente, seria fácil explicar la formacion de estos mismos nimbus, y luégo la congelacion de su agua vesicular, á pesar de la alta temperatura normal de estas regiones.»

Lleguemos ahora á lo que constituye la ori-

ginalidad de la teoría propuesta por M. Faye. Se requiere, decia ántes, además de un generador de electricidad y otro de frio, una causa de movimiento, á propósito para explicar la traslacion rápida de las tormentas. Este tercer elemento indispensable para su hipótesis lo saca tambien de las altas regiones, de las corrientes generales superiores que arrastran los cirrus helados.

Es sabido que el eminente astrónomo se ha ocupado de meteorología inducido á ello por sus estudios sobre la constitucion física del Sol, cuyas manchas son efecto, en su concepto, de los movimientos giratorios, de los torbellinos que hay siempre en las capas de la atmósfera solar. Para responder á las objeciones que se le hicieron, tuvo que estudiar los movimientos del mismo género de la atmósfera terrestre, las trombas, los tornados y los ciclones. Sin entrar por este concepto en detalles que nos llevarian muy léjos, diremos que M. Faye considera los torbellinos engendrados por desigualdades de velocidad de la capas de aire contiguas, con cierta tendencia á propagarse de arriba abajo, y tanto más pronunciada cuanto más violento es el movimiento de rotacion.

Semejantes torbellinos arrastran rápidamente hácia abajo todos los materiales acarreados por las corrientes superiores y por lo tanto, tambien los cirrus helados que flotan en ellas: «Las agujas de hielo repelidas á la periferia á causa de su densidad se encuentran y se aglomeran allí de modo que forman pequeños núcleos opacos. Encontrando estos agua vesicular en las nubes inferiores, la congelan, formando con ella una tenue capa trasparente. Si en este movimiento arremolinado, en que las espiras de diferentes radios que tienen el mismo eje por centro, están animadas de toda clase de velocidades, pasan sucesivamente estos pequeños granizos á regiones ocupadas por el aire glacial procedente de la parte superior y tambien á otras llenas de vapores vesiculares, crecerán en volúmen por capas sucesivas, hasta que por efecto de su peso ó por el de la fuerza centrífuga, escapen de la accion del torbellino. El aire arrastrado hácia abajo no llevará solamente consigo esas agujas de hielo, sino tambien su fuerte tension eléctrica, la cual se acumulará progresivamente en la superficie de la nube situada en la extremidad del torbellino, y adquirirá en breve suficiente tension para dirigirse en trazos fulgurantes hácia las nubes vecinas y por último al suelo.»

Tal es la solucion que propone el ilustrado académico, y que, segun se ve, es enteramente distinta de la de Volta ó de la teoría eléctrica del granizo. M. Faye sustituye el frio producido por la evaporacion con un trasporte mecánico de las capas congeladas de las altas regiones, suprimiendo la accion de la electricidad como causa productora del granizo. Sigue atribuyendo el aumento en el tamaño de los granizos á movimientos de oscilacion de los núcleos en el seno de las nubes vaporosas, pero no atribuye tambien la suspension prolongada de los témpanos á la atraccion y repulsion eléctricas, sino á una accion puramente mecánica, á la de los torbellinos.

M. Renou, distinguido meteorologista francés, piensa que la temperatura de las nubes de granizo puede bajar considerablemente—hasta á 22° bajo cero — sin que las vesículas de las nubes dejen de hallarse en estado líquido; pero semejante estado es muy inestable, pues ya es sabido que basta el contacto de un tenue cristal de hielo para que se congele espontáneamente el agua en estado de sobrefusion; de aquí el orígen de los granizos. M. Rosensthiel, que ha observado en Mulhouse, en 1872, granizos voluminosos, cuya estructura indica una cristalizacion inmediata, cree tambien que semejantes cristales proceden de la congelacion en un medio en estado de sobrefusion; pero opina que la teoría de M. Faye explica muy bien la presencia de cristales extraños que han ocasionado la congelacion en todo el medio.

Estas diversas teorías tienen un punto de conexion; en todas ellas se excluye la intervencion de la electricidad, á pesar de ser tan manifiesta, á lo ménos en apariencia, en todas las granizadas; pero no todos los físicos están conformes con ellas, y se sigue teniendo por verosímil el orígen eléctrico del meteoro. Por otra parte, parece necesario modificar la teoría de Volta en ciertos puntos esenciales: por esto, basándose M. Colladon en hechos de observacion muy precisos, no admite que haya dos nubes frente á frente, situadas una sobre otra, y á bastante distancia una de otra, y entre las

cuales suben y bajan los granizos. En su concepto, «estos grupos tormentosos se componen en realidad de muchos centros eléctricos, bastante inmediatos aunque bien distintos, y que pueden juntarse de varios modos. La teoría de la formacion del granizo es así mucho ménos problemática; los granizos son atraidos hácia uno de esos centros, luégo hácia otro, por efecto de su enorme tension positiva ó negativa, y en estas oscilaciones sucesivas se envuelven alternativamente en gotas de agua helada, ó en agujas de hielo. La rapidez de oscilacion debe disminuir á medida que los granizos aumentan y adquieren más masa, lo que explica bastante bien el espesor creciente, del centro á la circunferencia, de las capas sucesivas del grano de *gresil* situado en el centro del granizo. Además, se puede suponer que miéntras los granizos están suspendidos en el seno de las nubes y fuertemente electrizados, muchos de ellos, llenos de protuberancias, deben emprender un movimiento giratorio como si fuesen torniquetes eléctricos; crecen más rápidamente en sentido del radio de rotacion, y por último deben adquirir la forma de granizos planos y regulares, como los que cayeron en gran cantidad el 7 de julio de 1875.»

Terminemos este artículo exponiendo sucintamente una teoría eléctrica del granizo formulada por M. Planté, y cuyo punto de partida es un experimento de laboratorio efectuado por el aventajado físico.

Cuando se descarga una batería de cuatrocientos pares secundarios en la superficie de un líquido, se ve brotar un haz de glóbulos acuosos de forma ovoidea que se suceden con gran rapidez y saltan á más de un metro de distancia de la vasija en que se hace el experimento. El fenómeno que entónces ocurre es, en concepto de M. Planté, la imágen fiel de lo que pasa en el seno de las nubes de granizo. «Es muy cierto, dice, que las nubes no son masas líquidas propiamente dichas, pero ya se sabe que las de las regiones elevadas se componen de ligeros y finísimos cristales de hielo, cuya cohesion es menor que la del hielo ordinario, pudiéndoselas considerar como equivalentes ó poco ménos á la masa líquida suspendida en la atmósfera. Comprréndese, pues, que las descargas eléctricas puedan producir en ellas un efecto análogo al que producen en un líquido, y que el agua de esos cristales de hielo, licuada y pulverizada en los puntos en que estallan dichas descargas, salte en forma de chorros de glóbulos, como en nuestro experimento. Además, en razon de la baja temperatura del conjunto de la nube misma ó de las regiones elevadas en que sobreviene el fenómeno, estos glóbulos pueden congelarse y dar orígen á granizos.»

En resúmen, M. Planté considera *el granizo como el efecto resultante de la congelacion, en las altas y frias regiones de la atmósfera, del agua de las nubes pulverizada y evaporada por las descargas eléctricas.* Para explicar la estructura de los granizos formados de capas alternativamente opacas y trasparentes, supone muchas evaporaciones y congelaciones sucesivas, separadas por intervalos en que el granizo sufre un movimiento giratorio. «La opacidad del núcleo nevoso que forma esos granizos parece atestiguar en efecto la congelacion súbita del vapor de agua, pues ya es sabido que el carácter de las cristalizaciones rápidas consiste en dar orígen á cristales entrecruzados no trasparentes. Formado el primer núcleo, la rotacion en medio de la humedad de la nube produce alrededor una capa de hielo formada más lentamente, y por consecuencia trasparente. Tras una nueva descarga eléctrica sobreviene otra emision de vapor, y al mismo tiempo que de ella resultan nuevos granizos, los que giran todavía pueden cubrirse de una segunda capa de vapor que pasa bruscamente al estado de nieve y así sucesivamente.»

VII

TROMBAS MARINAS Y TERRESTRES

En el número de los meteoros que parecen tener mayor ó menor relacion con la electricidad de la atmósfera figuran las *trombas*, especie de torbellinos que se forman entre las nubes y el suelo; se las puede dividir en dos clases, segun que tengan orígen en el mar ó en tierra: las *trombas marinas* y las *terrestres*.

Demos ante todo una breve descripcion de los fenómenos que caracterizan ambas clases. El ilustrado director del observatorio de Paris, hoy almirante Mouchez, describia hace algunos años como sigue las circunstancias en que sue-

len formarse las trombas de mar. Por lo regular nacen en el borde inferior de un *nimbus* denso y muy bajo, durante una calma chicha ó cuando sopla una débil brisa; cualquier viento un poco fuerte las disipa casi inmediatamente despues de formadas. Generalmente está entónces el cielo despejado en algunos puntos del horizonte, y cubierto en otros de nubes muy densas rematadas en masas vedijosas más claras. «Cuando se presentan estas circunstancias juntamente con otras desconocidas, dice, se forma



Fig. 254.—Formacion de una tromba marina

cerca de la parte inferior de la nube una protuberancia que baja poco á poco hácia el mar y adquiere muy pronto la forma de columna ó tubo, que subsiste en posicion vertical si reina completa calma, y ondula ligeramente si sopla la brisa. Cuando este tubo, cuya parte superior está siempre rodeada de otro tubo más difuso, ha llegado á los cuatro quintos de altura de la nube, la superficie del agua empieza á hervir ligeramente si la tromba es vertical, y en haz oblicuo formando el ángulo de reflexion igual al de incidencia, si aquella está inclinada. Miéntras ocurre esta emision de vapor, el tubo se va aclarando y acaba por aparecer en forma de dos trazos negros muy finos y sueltos. Cuando el chorro de vapor ha cesado, la tromba parece haber terminado su obra, porque empieza á deshacerse por su parte inferior y á remontarse hácia la nube en la cual se pierde en breve.

»A veces, en lugar de un solo tubo, se ven dos ó tres, uno dentro de otro, todos perfectamente concéntricos, regulares y limitados siempre por líneas muy determinadas. La finura y limpieza de estas líneas negras es un hecho curioso y muy característico, sucediendo con frecuencia que el eje mismo está trazado por una línea central que se prolonga por fuera del tubo hasta el mar.»

A menudo se han visto muchas trombas saliendo de una misma nube, disipándose las unas ántes de su completo desarrollo y reuniéndose las otras hasta formar una sola. A veces la columna se desgarra en su parte inferior, soltando su contenido en el mar en forma de chorro líquido. Lo contrario ha observado el doctor Bonafons en las costas de la Argelia. La columna bajaba hácia la superficie del mar y el agua se elevó como atraida por ella hasta encontrarla; tan pronto como se estableció el contacto, «empezó en el interior de la columna un movimiento ascendente, parecido al de un sifon en que se ha hecho el vacío. Este movimiento, que ví claramente, era en espiral, desde la cúspide, á modo de chupador, hasta la base que se confundia con la nube. Esta espiral, en la que se distinguia la corriente ascendente y rápida del agua, seguia las dimensiones de la tromba que, siendo muy angosta en su parte inferior, iba ensanchándose. Al llegar el volúmen de agua á la parte superior, parecia enrarecerse, para confundirse con la nube que aumentaba á la simple vista.»

Hay trombas que en vez de empezar por arriba, tienen orígen por abajo. Un ejemplo de esto lo ofreció la tromba observada en 1846, en el golfo de Bujía por el teniente de navío Leps. «Vióse un torbellino en la superficie del mar; el agua saltó á bastante altura y luégo, sin dejar de subir en raudos torbellinos, se reunió con un negro nubarron.»

Las nubes que engendran las trombas suelen estar surcadas de relámpagos acompañados de truenos, sobre todo en el momento de la formacion de la columna descendente (1); pero este no es un fenómeno general, sucediendo tambien con frecuencia que ciertas trombas

(1) Sin embargo, hay casos en que esto sucede despues de la desaparicion de la tromba y así sucedió con una tromba doble observada en abril de 1826, en la costa de la Florida, por el doctor Lincoln. Cook describe muchas observadas por él en 1774 al sur de la Nueva Zelanda, y dice que despues de la desaparicion de la última hubo un relámpago sin explosion.

se forman y se disipan sin que se noten dichas señales de electrizacion en las nubes de que proceden.

Las trombas de mar rara vez son peligrosas, en primer lugar porque ocupan un espacio muy reducido y porque los marinos las esquivan fácilmente, y en segundo, porque muchas provienen de torbellinos sin grande importancia. Con todo, se hace mencion de trombas que, habiendo caido sobre los buques, les han causado grandes averías.

Las trombas terrestres, por fortuna mucho ménos frecuentes que las marinas, son tambien por lo regular, ménos benignas que ellas. El lector podrá juzgarlo por un ejemplo. Escogeremos, entre otras muchas, la tromba que el 18 de julio de 1839, asoló el término de Chatenay (Sena y Oise), y que Peltier describe así en su *Tratado de las trombas:*

«Por la mañana se formó una tormenta al sur de Chatenay, habiéndose dirigido á eso de las diez al valle entre las colinas de Ecouen y el cerrillo de Chatenay. Las nubes estaban bastante altas, y despues de haberse extendido hasta la extremidad este del pueblo, se detuvieron; retumbaba el trueno, y aquella tormenta seguia su curso ordinario, cuando al medio dia avanzó hácia el mismo llano y el mismo cerrillo otra tormenta que procedia tambien del sur y marchaba con bastante rapidez. Al llegar hácia el extremo de la llanura, por encima de Fontenay, en presencia de la primera tormenta que la dominada por su elevacion, hubo un momento de parada á cierta distancia; las dos tormentas se presentaban sin duda de frente sus nubes cargadas de la misma electricidad, y actuaban una sobre otra por repulsion.

»Hasta entónces habia resonado el trueno en la segunda tormenta, cuando bajando de pronto hácia el suelo una de las nubes inferiores, se puso en comunicacion con él formando una especie de cono invertido que tenia su base en las nubes superiores y su vértice á pocos metros de la tierra. Este vértice terminaba en un casquete inflamado de un color rojo vivo. En tal momento pareció cesar toda explosion, y ocurrió una atraccion prodigiosa; todo el polvo, todos los cuerpos ligeros que habia en la superficie del suelo, se lanzaron hácia la punta de la nube, de la cual salia un fragor continuo y confuso; algunas nubecillas daban vueltas y se arremolinaban alrededor del cono invertido y subian y bajaban rápidamente. La tromba causó graves daños en la mitad noroeste de los árboles situados al sudeste de la misma; la otra mitad no sufrió nada y conservó su estado normal. Las porciones atacadas experimentaron una alteracion profunda de que más adelante hablaremos, al paso que las otras porciones conservaron su savia y su vegetacion. La tromba bajó al valle hácia el extremo de Fontenay, dirigiéndose á unos árboles plantados á las márgenes de un riachuelo seco, pero húmedo todavía; despues de arrasarlo todo, atravesó el valle y avanzó hácia otros plantíos de árboles que destruyó tambien. Allí se detuvo unos cuantos minutos: habia llegado debajo de los límites de la primera tormenta, la cual, parada hasta entónces, comenzó á moverse y á retroceder hácia el valle de Chatenay. La tromba destrozó toda la heredad Thibault y siguió adelante derribándolo todo á su paso hácia el parque del castillo de Chatenay que arrasó tambien. Las paredes de cerca cayeron derrumbadas, el castillo y la granja perdieron sus techumbres y chimeneas; muchos árboles fueron á parar á centenares de metros de distancia, y se encontraron cerraduras, cerrojos, tejas, etc., á 500 metros y más.

»Despues de asolarlo todo, bajó la tromba por el cerrillo hácia el norte, se detuvo sobre una balsa, desarraigó y secó la mitad de los árboles, mató todos los peces, recorrió lentamente una calle de sauces cuyas raíces penetraban en el agua, perdiendo en este paso gran parte de su extension y violencia; encaminóse más despacio todavía á una llanura situada más allá, y al llegar á un bosquecillo distante un millar de metros se dividió en dos porciones, una de las cuales se elevó á las nubes y la otra se deshizo en el suelo. Al poco rato, el cielo estaba tan sereno como en los dias más hermosos.

»Los efectos de esta tromba no pasaron de una anchura de 150 metros; su curso desde el punto de orígen hasta que se disipó, fué de unos 4 kilómetros. Todos los árboles alcanzados por ella presentan los mismos caractéres; toda su savia se ha evaporado, habiendo quedado solo la parte leñosa, pero sin cohesion alguna:

se ha secado como si la hubieran tenido cuarenta y ocho horas en un horno calentado á 150°; no queda ningun vestigio de sustancia húmeda. Tan inmensa cantidad de vapor formada instantáneamente no ha podido escaparse sino rompiendo el árbol, abriéndose paso por todas partes, y como las fibrillas leñosas son ménos coherentes en el sentido longitudinal que en el horizontal, todos los árboles parecen haber sido aserrados en tablas en una porcion del tronco.

»Mil quinientos árboles sirvieron indudablemente de conductores á masas de electricidad, á rayos continuos, incesantes. La temperatura, sumamente elevada por tan copioso raudal de flúido eléctrico, ha evaporado instantáneamente toda la humedad de esos conductores vegetales, y esta evaporacion los ha hecho estallar en sentido longitudinal. El árbol así secado, así deshecho y convertido en un mal conductor, no podia ya dar salida al flúido, y como habia perdido toda su fuerza de cohesion, la tormenta que acompañaba á la tromba lo rompia en vez de arrancarlo.

»Observando la marcha de este fenómeno, se ve la trasformacion de una tormenta ordinaria en tromba; se ven dos tormentas frente á frente, una superior y otra inferior presentándose una á otra las nubes cargadas de igual electricidad. Repeliendo la primera á la segunda hácia tierra, las nubes que se hallan en la parte superior de ésta bajan y comunican con el suelo por medio de torbellinos de polvo y de los árboles, y tan luégo como se establece esta comunicacion, cesa el fragor del trueno. Efectúanse las descargas por un conductor compuesto de las nubes descendidas y de los árboles del llano, y al atravesar la electricidad á estos últimos, sube de tal modo su temperatura que en un momento se reduce toda su savia á vapor cuya tension produce entre sus capas leñosas la disgregacion mencionada.

»Han acompañado á este meteoro llamas, bolas de fuego y chispas; por espacio de muchos dias ha quedado en las casas un fuerte olor de azufre y hasta se han chamuscado algunas cortinas.»

Se han propuesto varias teorías para explicar el fenómeno de las trombas, tanto marinas como terrestres. En unas se hacen intervenir causas puramente mecánicas, asimilándose estos meteoros á los torbellinos que se forman en las corrientes de agua cuando hay algunos obstáculos en el fondo del lecho ó en la superficie, ó á los que se observan cuando dos corrientes de aire, dos vientos de encontradas direcciones chocan y arrebatan los objetos leves ó el polvo. Pero estas teorías, que no carecen de ilustres partidarios, como Franklin y Monge, son cuando ménos insuficientes, y ya hemos visto que los observadores están acordes en reconocer que las trombas nacen casi siempre durante las calmas en la superficie del mar. En la descripcion trascrita de la tromba de Chatenay, se ve que el meteorologista Peltier atribuye á la electricidad los principales efectos observados. En su concepto, si una nube tempestuosa cercana á la tierra es bastante densa, bastante espesa, las masas inferiores experimentan la atraccion eléctrica de la tierra y se dilatan hácia ésta; los objetos leves y movedizos son atraidos hácia el cono de la nube, y repelidos en seguida que se han saturado de su electricidad. Tal es la causa de la nube de polvo que acompaña siempre á las trombas terrestres. Los movimientos de atraccion y de repulsion, las descargas eléctricas que ocurren en el seno del meteoro y en todo su trayecto, entre el suelo y la nube, bastan para explicar los efectos destructores de las trombas terrestres. Tambien se ha visto cómo puede explicar la naturaleza eléctrica del meteoro ciertos fenómenos inexplicables sin ella.

Pero es posible y áun probable que no todos los meteoros que han recibido el nombre de trombas tengan el mismo orígen. De 137 trombas descritas por Peltier en su Tratado, 33 han nacido en tiempo de calma; 37 han tenido por carácter un movimiento de torbellino y 25 carecian de este movimiento. Segun dice Pouillet, el meteoro que asoló en 1845 los alrededores de Rouen y en especial el valle comprendido entre Malaunay y Monville, no ofrecia ninguno de los caractéres de los fenómenos eléctricos. Pero se ha combatido esta opinion, y otros físicos han hecho notar que dicha tromba se dirigió con preferencia á los talleres llenos de máquinas, de masas de metal, y que por lo mismo ofrecian á la electricidad un paso más rápido y fácil.

CAPÍTULO XIII

LA ELECTRICIDAD ATMOSFERICA

I

ELECTRICIDAD DEL AIRE.—INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE OBSERVACION

Si las nubes están cargadas de electricidad durante las tormentas, si llega un momento en que sus tensiones son tales que se rompe el equilibrio, y en que el relámpago, el trueno y todos los fenómenos que acabamos de describir manifiestan con plena evidencia la crísis meteorológica que sirve para restablecer este equilibrio, natural es que se haya procurado averiguar cuál es la causa de esta produccion extraordinaria de electricidad y ver si se descubre su rastro y orígen en el estado habitual de la atmósfera, cuando no hay el menor síntoma de tormenta.

Le Monnier, físico del pasado siglo, fué el primero que resolvió tan importante cuestion, haciendo ver que en un cielo sereno y despejado se notan indicios de electrizacion. Para ello se valió de una barra metálica aislada, plantada verticalmente, aparato empleado ya por Dalibard para reconocer la electricidad de las nubes tempestuosas. Le Monnier logró sacar algunas chispas de la barra, cuando no se divisaba la menor nubecilla en la atmósfera; pero cuando el cielo estaba cubierto de nubes que marchaban lentamente, durante los dias húmedos y no lluviosos, y finalmente, cuando el viento soplaba con fuerza, no advirtió ningun indicio de electrizacion de la atmósfera.

Posteriormente á Le Monnier, se han hecho numerosas observaciones sobre tan interesante punto de meteorología; ántes de indicar sus principales resultados, pasaremos revista á los métodos ó á los aparatos usados para comprobar la presencia de la electricidad atmosférica, reconocer su naturaleza y medir en lo posible su intensidad.

A las barras de hierro aisladas de Dalibard y Le Monnier se las sustituyó en breve con las cometas, tan oportuna y provechosamente usadas por Franklin para estudiar la electricidad de las nubes tempestuosas; pero estos aparatos no podian servir para observaciones permanentes. Beccaria estudió por espacio de quince años la electricidad atmosférica valiéndose del siguiente procedimiento. Su observatorio, situado en la cumbre del monte Garzegna, junto á Mondovi, dominaba las llanuras del Piamonte; su aparato consistia en un largo alambre fijo por un extremo en un cerezo y por el otro en un palo sujeto á una chimenea; ambos extremos estaban aislados con tubos de vidrio dados de lacre, y por fin, una varilla conductora que partia del alambre, penetraba en su habitacion atravesando un cristal de la ventana. Allí hizo sus observaciones sobre la electricidad recogida de tal suerte. Más adelante, sirvióse de una cuerda de 500 metros aislada, que habia mandado tender sobre el Pó.

El físico inglés Read discurrió el aparato siguiente. Puso en la habitacion más alta de su casa una percha de abeto de 20 piés de longitud, sustentada y aislada en su parte inferior por soportes de vidrio lacrados. Su extremo atravesaba el techo y el tejado sin tocarlos, y una especie de cobertera de hojalata, fija en la percha por la parte exterior, ponia la inferior al abrigo de la lluvia. Una varilla de hierro en que remataba la percha estaba unida con el interior de la habitacion por medio de alambres que bajaban á lo largo del palo, y que se reunian en una bola aislada, situada en la estancia y en la cual estudiaba Read el estado eléctrico. Habia cuidado este físico de poner junto á la bola un conductor en comunicacion con tierra, y que se ponia en contacto con ella cuando sonaba una campanilla, la cual marcaba una tension eléctrica considerable.

El aparato que adoptó Saussure no era otra

cosa sino un electrómetro de bola de saúco, cubierto con un sombrerete metálico y terminado en una varilla más ó ménos larga. El sombrerete tenia por objeto preservar de la lluvia la capa de lacre de que estaba cubierta la campana de cristal del electrómetro. En lugar de bolas de saúco se suelen usar panes de oro, cuya divergencia es más ó ménos pronunciada segun la tension que tenga la electricidad. Mediante una escala graduada grabada en el cristal de la campana se conoce el ángulo de desviacion de las hojas de oro, comparando luégo con una tabla empírica las tensiones de la electricidad observada. Volta prolongaba el efecto de la varilla encendiendo un pedazo de yesca en su extremo. Como el humo es conductor, la columna que formaba iba á recoger la electricidad del aire á mayor altura. Con el mismo objeto se ha empleado un artificio muy sencillo que consiste en atar con un hilo conductor de mucha longitud una bola metálica que se arroja verticalmente con fuerza; el hilo está sujeto á un anillo que corre á lo largo de la varilla del electrómetro. Cuando la bola ha llegado á grande altura, el hilo tendido se separa de la varilla. Becquerel y Breschet han hecho en el monte San Bernardo observaciones de electricidad atmosférica disparando con un arco una flecha unida del mismo modo á la varilla, que en este caso no debe terminar en punta, pues de lo contrario el aparato no conservaria su electricidad y no se podria determinar la naturaleza de ésta. Por lo que hace á la tension atmosférica, la marca la divergencia de los panes de oro en el momento en que el anillo se separa de la varilla y que no es otra sino la de la capa de aire en que acaba de penetrar el proyectil.

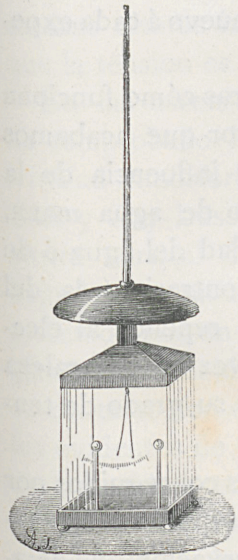


Fig. 255. — Electrómetro de Saussure, de panes de oro, para estudiar la electricidad atmosférica

Peltier, que ha hecho indagaciones continuadas sobre la electricidad atmosférica, empleaba un electrómetro (fig. 256) cuya varilla exterior remataba en una montera y un globo hueco de cobre, y en el interior de la caja de vidrio, en un anillo vertical. Este anillo sustentaba un eje sobre el cual estaba suspendida una aguja curva de cobre *bb*, la cual quedaba así, lo propio que la agujita imantada *aa* de la cual es solidaria, en un mismo plano vertical, en comunicacion constante con la varilla y el conductor exterior. En el mismo eje está fija otra aguja más larga y fuerte *cc* debajo de la primera, y dicho eje, metido en un tubo de vidrio lleno de goma laca, se halla por esta razon aislado. Para observar, se empieza por poner el electrómetro en tal posicion, que la aguja mayor esté en el mismo plano vertical que las otras dos, es decir, en el meridiano magnético. Hecho esto, como el globo del electrómetro recibe la electricidad del aire, ésta pasa, por medio de la varilla y del anillo á las dos agujas metálicas que, electrizándose del mismo modo, se repelen hasta que la fuerza directriz de la agujita imantada equilibra su repulsion. Electrizada por influencia la bola del aparato, conserva la electricidad opuesta á la del aire y la del mismo nombre carga las agujas; si entónces se toca con la mano la bolita del electrómetro, esta última electricidad se escapa á tierra, y el aparato conserva electricidad contraria á la de la atmósfera.

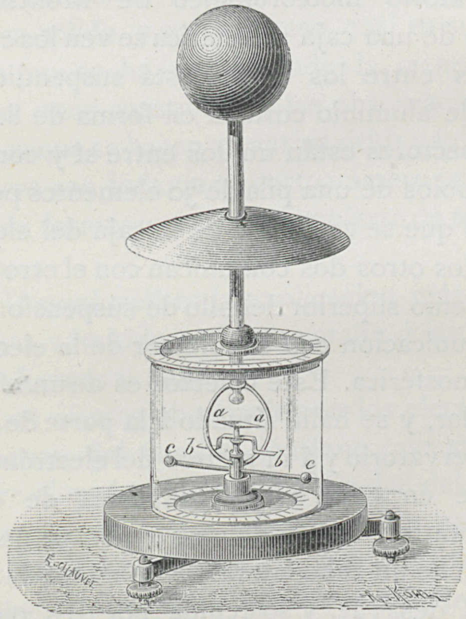


Fig. 256.—Electrómetro de Peltier

Considérase el electrómetro de Peltier como uno de los más á propósito para el estudio de la electricidad atmosférica.

En Inglaterra se usa el electrómetro de

cuadrante de Thomson convenientemente modificado para comprobar la presencia y el signo de dicho agente y medir su tension. Como hemos descrito ya este aparato, remitimos al lector al capítulo que contiene su descripcion y da á conocer el principio en que está basado. La figura 257 lo representa tal como lo ha modifi-

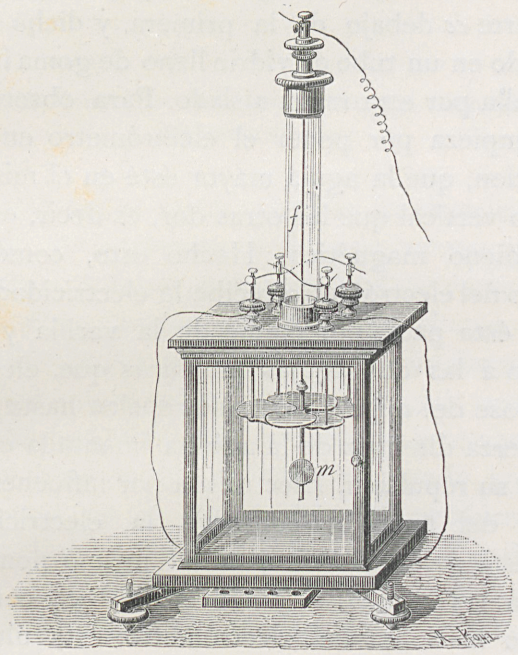


Fig. 257.—Electrómetro de Thomson modificado por Branly

cado M. Branly y como se le emplea en el Observatorio meteorológico de Montsouris, Dentro de una caja prismática se ven los cuatro sectores entre los cuales está suspendida la aguja de aluminio cortada en forma de 8. Dos de los sectores están unidos entre sí y con uno de los polos de una pila de 50 elementos pequeñísimos que se ve debajo de la caja del electrómetro; los otros dos comunican con el otro polo. El extremo superior del hilo de suspension está en comunicacion con el colector de la electricidad atmosférica. Este colector es de una forma particular, y se halla situado á la parte de fuera del observatorio y á 11 metros del electrómetro: consiste en «una vasija cilíndrica de cobre de 20 centímetros de diámetro por 30 de alto, provista de un tubo lateral de un metro de largo para el desagüe, y sostenida por tres piés de vidrio sobre una columna hueca de hierro de $1^{m},80$ de altura: una montera de cobre resguarda dichos piés. Un alambre de cobre, cubierto con dos capas de guttapercha rodeadas de una envolvente de plomo, baja desde el recipiente al eje de la columna de hierro y por un conducto subterráneo va á ponerse en comunicacion con el electrómetro. El chorro de agua que sale del recipiente tiene un milímetro de diámetro, para aumentar la rapidez de la carga del instrumento y disminuir la influencia de las pérdidas de electricidad por los conductores. Un tubo abductor lleva el agua un poco más arriba del depósito, que se llena de nuevo á cada experimento.»

Hé aquí ahora en dos palabras cómo funciona el aparato. La vasija ó colector que acabamos de describir se electriza por influencia de la atmósfera. Cuando el chorrito de agua mana, arrastra consigo la electricidad del agua ó de la vasija que es de nombre contrario á la del aire; la del mismo signo es repelida al electrómetro, y éste marca á la vez la naturaleza de la electricidad repelida y su grado de tension.

Veamos ahora los resultados conseguidos por los físicos y los meteorologistas que han empleado los varios métodos de observacion que dejamos enumerados.

II

ELECTRICIDAD DE LA ATMÓSFERA

La electricidad del aire, estando el cielo sereno, es siempre positiva. La del suelo es negativa, observándose sobre todo en los puntos salientes. Entre las capas elevadas del aire y el suelo hay una capa neutra, cuyo espesor varía entre uno y muchos metros. Pero los instrumentos no marcan indicio alguno de electrizacion sino cuando están situados en un sitio bien despejado, y no tienen alrededor ni árboles, ni casas, en una palabra, ningun objeto terrestre. Así es, que en los valles y bajo los árboles, en las calles de las ciudades no se suele advertir vestigio alguno de electricidad, al contrario de lo que se observa en campo raso ó en las mesetas.

La tension de la electricidad atmosférica aumenta con la altitud, resultado confirmado por las observaciones de B. de Saussure, Ermann, Becquerel y Breschet, y Peltier. El primero observaba con su electrómetro, subiendo progresivamente por las laderas de las montañas; ya hemos dicho que Becquerel disparaba en

las mesetas del San Bernardo una flecha armada de una punta metálica y unida á la varilla del electroscopio con un anillo y un torzal de seda recubierto de laton: Peltier se valia de cometas.

Sin embargo, no se conocia la ley de variacion que sigue la electricidad del aire con la altitud, y tan sólo por lo que respecta á escasas alturas ha visto Quetelet en Bruselas que la tension es proporcional á la altura.

En las ascensiones aerostáticas es como se ha comprobado la tension positiva de la electricidad atmosférica en grandes alturas. Cuando Biot y Gay-Lussac se elevaron en 1804 á una altura vertical de 7,000 metros, suspendieron bajo la barquilla del globo una bola de cobre sostenida por un alambre de 50 metros de longitud. Al poner el extremo superior del alambre en contacto con el electrómetro, éste dió señales evidentes de electrizacion, que aumentaban de intensidad con la altura. La electricidad del hilo fué siempre negativa; pero como se habia acumulado por influencia, resultaba que la de las capas de aire era por el contrario positiva. Verdad es que las inferiores, actuando tambien por influencia, descomponian el flúido neutro de la bola y del hilo y repelian la electricidad positiva hácia la punta superior del alambre: la diferencia de estas dos acciones opuestas era la que, dando una resultante negativa, demostraba que las capas superiores poseian en realidad un exceso de electricidad positiva.

Cuando hicieron esta observacion Biot y Gay-Lussac el tiempo estaba sereno. Y lo que hemos dicho de la electricidad positiva de la atmósfera no es cierto sino mediando esta condicion, pero cuando el cielo se nubla, el estado eléctrico es muy variable; las señales de electrizacion indican variacion, no tan sólo en la tension, sino tambien en la naturaleza de la electricidad del aire.

Háse reconocido asimismo que, á igual altitud y en una misma estacion próxima al suelo, la tension de la electricidad varía con la hora del dia. Segun las observaciones de B. de Saussure y de Schubler, llega á su *primer máximum* á eso de las seis ó las siete de la mañana en verano, á las ocho ó las nueve en primavera y en otoño, y entre diez y doce en invierno. Llegada la tension á su máximum, disminuye al pronto rápidamente, luégo más despacio y llega por fin al *primer mínimum* entre cuatro y seis de la tarde en verano y á eso de las tres en invierno. Luégo, cuando el sol se acerca á su ocaso, la electricidad atmosférica empieza á crecer de nuevo, aumenta sensiblemente cuando el astro traspone el horizonte, continúa aumentando durante el crepúsculo, y llega al *segundo máximum* hora y media ó dos horas despues de ponerse el sol. Este máximum tiene casi el mismo valor que el de la mañana, pero dura ménos tiempo, y le sigue una disminucion lenta hasta la salida del sol.

Esto en cuanto al período diurno. Pero la electricidad atmosférica de los tiempos serenos está asimismo sujeta á variaciones ánuas: por lo comun su tension es más fuerte en invierno que en verano. ¿Cuáles son las causas de estas variaciones? ¿Tienen alguna conexion con los demás elementos ó agentes de la atmósfera, con su estado higrométrico, con su temperatura? Por otra parte, ¿cuál es el orígen de la electricidad positiva del aire, y cómo se cargan las nubes de electricidad negativa en los tiempos tempestuosos? Por último, ¿la electricidad negativa del suelo es el resultado de la descomposicion por influencia ejercida por la tension positiva del aire, ó bien, como creen muchos físicos, es una electricidad propia de la costra sólida, y en este caso, cuál es su orígen? Aún no se ha pronunciado la ciencia sobre todas estas cuestiones, y las observaciones continuas que se hacen en varios sitios y á diferentes alturas son todavía en corto número para que se pueda formar una teoría á cubierto de toda objecion.

Hé aquí cuál es la explicacion más generalmente admitida en lo que atañe á las variaciones diurnas y ánuas.

Los efectos observados en los electrómetros dimanan del cambio continuo que se efectúa entre el suelo y las capas elevadas del aire. Por consiguiente, estos efectos serán tanto más intensos cuanto más fácil paso ofrezca el medio interpuesto, es decir la capa media de aire, á la electricidad negativa que se eleva del suelo á la atmósfera y á la positiva que baja de ésta á aquél. Ahora bien, como la conductibilidad del aire es tanto mayor cuanto más humedad contenga éste, resulta que los máxima y mínima

de la electricidad atmosférica deberán estar en relacion con los del estado higrométrico de las capas aéreas.

Por esta razon hay un primer máximum algunas horas despues de la salida del sol: los vapores, en el momento del orto de este astro, están condensados en las capas más próximas al suelo, y la comunicacion eléctrica interrumpida entre estas capas y las superiores. Cuando dichos vapores se elevan poco á poco por efecto de la radiacion, restablecen dicha comunicacion y la intensidad eléctrica no tarda en llegar á su máximum; pero disminuye en seguida á causa del aumento del calor del aire, que se seca por efecto de los rayos solares, y llega al mínimum del medio dia. El enfriamiento que sigue á la puesta del sol determina la condensacion de los vapores en todo el espesor de la capa atmosférica; el cambio eléctrico empieza de nuevo, y las indicaciones del electrómetro son más marcadas, para disminuir poco á poco durante la noche.

Se ha hecho observar con razon que como los indicios de electricidad dados por los aparatos dependen á la vez de las cantidades de flúido acumuladas en la atmósfera y del poder conductor de las capas intermedias, no podian dar la medida exacta de dichas cantidades. Siendo la conductibilidad mayor en invierno que en verano, el electrómetro indica solamente que la corriente que se establece entre las altas regiones y el suelo es más intensa; por consiguiente se puede deducir de esto que dichas regiones poseen en invierno una electricidad ménos abundante que en verano, en que el poder aislador del aire es mayor. Así se explica la frecuencia de las tormentas durante la estacion calurosa.

A mayor controversia ha dado lugar la cuestion del orígen de la electricidad atmosférica. El hecho general cuya realidad acabamos de comprobar es el siguiente: la atmósfera posee una tension eléctrica positiva que va creciendo con la altura; por el contrario, el suelo tiene una tension negativa. ¿De dónde procede la electricidad positiva de las altas regiones? Si este orígen estuviese perfectamente determinado, claro está que la electricidad del suelo podria atribuirse á efecto de la influencia de la envolvente aérea del globo sobre su parte sólida.

Primeramente se ha atribuido dicho orígen al movimiento de unas masas de aire contra otras, es decir, al frotamiento, lo cual era natural toda vez que en un principio el frotamiento era la única causa conocida del desarrollo de la electricidad. Luégo se sustituyó esta explicacion con la electricidad engendrada por dos influencias que actúan de un modo casi continuo en la superficie de nuestro globo, la evaporacion y la vegetacion. Volta fué el primero que demostró que la evaporacion es un manantial de electricidad; de Saussure, Lavoisier y Laplace confirmaron la exactitud del fenómeno. En último lugar, Pouillet ha estudiado y precisado sus condiciones: reconoció que si el agua que se evapora es pura, el vapor se halla en estado natural; pero si contiene sales en disolucion, está cargado de electricidad, y si el agua es salada, esta electricidad es positiva. Así pues, la enorme y continua evaporacion de la superficie de los mares es una causa constante de produccion de electricidad; pero las aguas dulces jamás son puras; los terrenos impregnados de lluvias se hallan en el mismo caso, y esta primera fuente de electricidad bastaria para explicar la tension positiva de las altas regiones del aire. Lo propio acontece con el acto de la vegetacion, que consiste en acciones químicas productoras de electricidad; el ácido carbónico procedente de toda clase de combustiones lleva tambien al aire electricidad positiva, quedándose en el suelo la negativa. Cierto es que se ha puesto una grave objecion á esta teoría: la de que la evaporacion y la vegetacion son más activas en verano, al paso que los electrómetros marcan mayor tension en invierno. Pero, segun hemos visto más arriba, nada prueba que la electricidad de las capas superiores sea en efecto más abundante en verano; la contradiccion aparente consistiria en que el poder aislador del aire es entónces mayor, y menor el cambio eléctrico entre el suelo y el aire. Los experimentos de Matteucci parecen haber confirmado las opiniones de Pouillet.

Con todo, Becquerel considera insuficiente esta explicacion de la electricidad positiva del aire, siquiera no la rechace en absoluto, pues no admite que todas las causas físicas, químicas y fisiológicas que desprenden electricidad en la superficie de la tierra, puedan suministrar las

enormes cantidades de flúido difundidas por los espacios planetarios, causas que hay que admitir forzosamente si se quieren explicar los fenómenos de las auroras polares. «Si así fuese, dice, ¿porqué habia de ir aumentando la tension de la electricidad positiva, al alejarse de la fuente del flúido, cuando deberia suceder lo contrario?» El ilustrado físico ha buscado pues otra causa, habiendo creido encontrarla en los fenómenos que ocurren en la superficie del sol. Los desprendimientos de hidrógeno que allí se notan en forma de protuberancias sonrosadas, y que los astrónomos observan ahora de continuo, engendran electricidad positiva que se extiende por los espacios planetarios, por un medio cósmico ponderable de extraordinario enrarecimiento. «Esta electricidad llega á la atmósfera terrestre y luégo á la tierra misma, disminuyendo de intensidad, á causa de la resistencia que experimenta al atravesar las capas de atmósfera cada vez más densas.»

Debemos hacer tambien mencion de la teoría de Peltier, el cual no admite que la atmósfera contenga en los dias serenos electricidad positiva, á pesar de las indicaciones de los electrómetros. En su concepto, los fenómenos observados se deben á la influencia de la electricidad negativa del suelo. Pero entónces faltaria averiguar el orígen de esta electricidad negativa, y miéntras así no se consiguiera, la dificultad quedaria en pié.

III

LOS PAÍSES ELÉCTRICOS

Arago dedica varios párrafos de su *Tratado del Rayo* á resolver las cuestiones siguientes:

¿Hay sitios en los que no truena nunca?

¿Cuáles son los sitios en que más truena?

¿Truena tanto en alta mar como en los continentes?

¿Hay circunstancias locales que influyen en la frecuencia de este fenómeno?

¿Truena hoy tan á menudo como en los siglos pasados?

¿Cuál es en nuestros dias la distribucion geográfica de las tempestades con relacion á su frecuencia?

La discusion de los hechos de observacion que á la sazon habia logrado reunir el ilustre secretario perpetuo de la Academia de ciencias, le permitió formular una respuesta á algunas de estas preguntas. Parece probado que truena más en las regiones equinocciales, ó que las tempestades eléctricas son más frecuentes en ellas, siendo este fenómeno más raro cuanto mayor la latitud. Créesele desconocido en el Spitzberg, y por lo general allende el paralelo 75; en Islandia no truena nunca. Las circunstancias locales tambien ejercen marcada influencia, puesto que en el Bajo Perú, en Lima, se desconoce el trueno. Es más frecuente en los continentes y en las islas que en el mar, haciéndose más raro cuanto más léjos de las costas. Los hechos históricos mencionados en los autores antiguos parecen «dar alguna probabilidad á la idea de que las tormentas han disminuido de intensidad desde las primitivas épocas.»

Las recientes investigaciones practicadas por J. Fournet han demostrado que ciertas regiones son más propensas que otras á fenómenos eléctricos extraordinarios, y que la influencia de las circunstancias locales no se manifiesta solamente en la falta ó frecuencia del trueno. Para caracterizar esta influencia, M. Fournet ha dado el nombre de *países eléctricos* á las regiones dotadas de tan singulares propiedades. Entremos en algunos detalles acerca de este asunto.

Volney habia ya consignado en la relacion del viaje que hizo á los Estados Unidos en 1797 la intensidad y la abundancia de la electricidad en aquel país, áun cuando no hubiera tormentas, y atribuia el fenómeno á la sequedad del aire, á la rapidez con que allí tiene efecto la evaporacion. El profesor Loomis describe así los efectos que ocasiona en Nueva York la presencia de una excesiva cantidad de electricidad en la atmósfera:

«En invierno, los cabellos se electrizan extraordinariamente, y en especial cuando se los peina con una lendrera. A menudo se ponen de punta, y cuanto más se procura alisarlos, más resisten al peine. Entónces se dirigen hácia los dedos que se les acercan, y para obviar este inconveniente, basta mojarlos.

»En la misma estacion, todas las prendas de lana, y sobre todo los pantalones, atraen la pelusa y el polvillo que flota en el aire; estas partículas se adhieren principalmente hácia los

piés, y el cepillo sólo sirve para adherirlos más. Una esponja húmeda es el remedio que se aplica siempre en semejante caso.

»De noche, las gruesas alfombras de las habitaciones abrigadas producen ligeros chasquidos; brillan si se pasea sobre ellas, y si se pasa dos ó tres veces con rapidez, despiden una chispa de algunos centímetros de longitud y lo bastante intensa para que produzca el efecto de un pinchazo. Un objeto de metal, como por ejemplo, el tirador de una puerta, lanza una chispa á la mano que lo toca, asustando á veces á los niños. No es imposible encender un mechero de gas con el dedo despues de haberse paseado por la alfombra aisladora.»

La gran sequedad del aire en las mesetas de los Andes da orígen á fenómenos análogos. Lo propio sucede en los desiertos del Africa austral, donde segun Livingstone, es tal la tension eléctrica cuando sopla el viento cálido del norte, que las plumas de avestruz se cargan de flúido y ocasionan vivas conmociones; la sola friccion de la ropa hace brotar chorros luminosos. Segun H. de Saussure, la sequía de las mesetas elevadas de México es extraordinaria á fines del invierno, y el contacto de los objetos engendra chispas eléctricas de notable intensidad.

El señor Craveri, físico de México, ha descrito los fenómenos observados por él en una ascension que hizo en mayo de 1845 al Nevado de Toluca: «A las sensaciones eléctricas que experimentaron él y sus guías, dice M. Fournet, en todas sus extremidades, en los dedos, en la nariz, en las orejas, siguió un ruido sordo, aunque no tronaba todavía; las largas cabelleras de los indios se les ponian rígidas y tiesas, haciendo que la cabeza de aquellos hombres pareciera de un tamaño enorme, de suerte que la vista de este efecto aumentó su supersticioso terror. El ruido redobló en intensidad, pareciendo general en la montaña, y semejándose al que produciria un gran número de guijarros repelidos y atraidos alternativamente por la electricidad; pero probablemente reconoceria por causa los millones de chispas que brotaban de un terreno pedregoso.»

M. Fournet menciona hechos análogos referidos por varios exploradores de las montañas del Jura y de los Alpes.

En resúmen, ciertos países parecen dotados en alto grado de la propiedad de emitir, en tiempo seco, electricidad á considerable tension, sucediendo lo propio con los puntos del suelo que por su altitud ó su forma saliente ó aguda son eminentemente adecuados para dar salida á la electricidad acumulada en la superficie de la tierra. En el primer caso, los fenómenos se explican por la persistencia de ciertos vientos, por la evaporacion abundante que suscitan, por la sequedad del aire que es su consecuencia, y que segun sabemos es una condicion de la manifestacion de la electricidad. Pero si se puede así, *grosso modo*, dar la razon de los hechos observados, en cambio se sabe muy poco acerca de las circunstancias complejas de su produccion y de su conexion con los demás fenómenos meteorológicos.

SEGUNDA PARTE

APLICACIONES DE LOS FENÓMENOS Y DE LAS LEYES DEL MAGNETISMO Y DE LA ELECTRICIDAD

CAPÍTULO PRIMERO

LA BRÚJULA

I

BRÚJULA DE DECLINACION.—SUS USOS EN LA NAVEGACION

Mucho ántes de conocerse las leyes de los fenómenos magnéticos, se hacia uso de la brújula para navegar léjos de las costas, cuando el cielo, cubierto de nubes ó de brumas, no proporcionaba ninguna indicacion astronómica del rumbo que debian seguir los barcos en el mar. Este es uno de los ejemplos más sorprendentes de una de las aplicaciones de los fenómenos de la física que precedió con mucho al descubrimiento de las leyes ó de la teoría. «Más de mil años ántes de nuestra era, dice Humboldt, en la oscura época de Codro y del regreso de los Heraclidas al Peloponeso, los chinos tenian ya *balanzas magnéticas*, en uno de cuyos brazos habia una figura humana que marcaba constantemente el sur; y se valian de esta brújula para viajar al través de los inmensos páramos de la Tartaria. En el siglo tercero ántes de J. C., es decir, lo ménos setecientos años ántes de la introduccion de la brújula en los mares europeos, los juncos chinos navegaban por el Océano Indico guiándose por la indicacion magnética del sur.» *(Cosmos.)*

Ya hemos dicho lo que eran los *carros indicadores del sur* de que habla Humboldt; en su forma más antigua consistian en una estatuita que giraba sobre un eje vertical; uno de sus brazos se extendia al sur, porque contenia una aguja imantada con el polo boreal hácia la mano y el norte ó austral hácia el hombro. Más adelante, en el siglo segundo, se dió otra forma á la brújula china que los árabes trasmitieron á los navegantes europeos en la época de las primeras cruzadas: era una aguja imantada puesta sobre un flotador. Pero hasta la primera mitad del siglo XIV no se perfeccionó de nuevo un instrumento tan útil para la navegacion, y hoy tan precioso para el estudio de la física del globo, en cuya época se suspendió la aguja imantada sobre un eje (1).

La brújula de declinacion presta frecuentes servicios á los navegantes, proporcionándoles uno de los elementos necesarios para el rumbo de los barcos, es decir, el ángulo que forma el eje del buque con el meridiano del lugar en que se encuentra. En la navegacion por estima, el otro elemento que se determina por medio del instrumento llamado *corredera*, es la marcha del barco.

La brújula lleva entónces, en el lenguaje de los marinos, el nombre de *aguja náutica* ó *de marear*. Se la instala de un modo fijo, á popa, junto al timon, en una especie de caja ó armario que se llama *bitácora*. Esta suele tener tres divisiones ó compartimientos; uno en medio, que contiene una lámpara, la cual sirve para las observaciones nocturnas; en cada uno de los otros dos hay una brújula, para comprobar las indicaciones de ambas.

(1) Segun parece, este perfeccionamiento fué obra del napolitano Flavio de Gioia, á quien se atribuyó al principio la invencion de la brújula.

La aguja imantada de la brújula marina descansa sobre un eje, en el centro de la *cubeta* ó cilindro de cobre; lleva un disco ligero en el cual está trazada una rosa de vientos, y que además hace más suaves las oscilaciones de la aguja. La cubeta, lastrada con una masa de metal, está sostenida á su vez por la bitácora mediante una *suspension á la Cardan* (1), de modo que el plano del limbo subsista horizontal, cualesquiera que sean los movimientos del

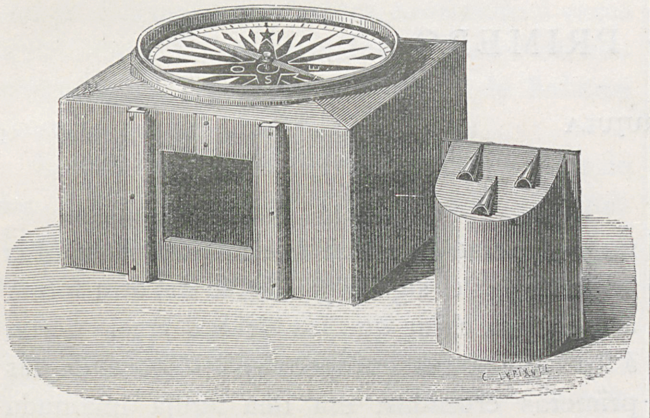


Fig. 258.—Brújula marina

barco. Una raya ó una estrella marca en el borde anterior de la cubeta la direccion de la quilla ó del eje del buque, á cuyo punto se da el nombre de *cabeza de la brújula.*

Así pues, á todo instante se puede ver en la rosa de vientos el ángulo que forma la aguja imantada con la *cabeza de la brújula.* Añadiendo á este ángulo la declinacion magnética ó deduciéndola del mismo ángulo, segun los casos, se tendrá la orientacion del barco.

Como se ve, el uso de la aguja náutica en la navegacion marítima supone el conocimiento del valor de la declinacion magnética en los puntos en que observa el marino; mas para esto se requiere que no haya causas de perturbaciones capaces de inducirle á error, tanto más grave cuanto más exento de él se crea. Y esta causa de error existe, siendo la que resulta de la accion sobre la aguja imantada de las masas de hierro que contiene el buque. Lo que es más de temer es la imantacion transitoria que ocasiona la influencia del globo sobre dichas masas, porque varía con la posicion y con la orientacion del buque.

Hace ya mucho tiempo que se notó la influencia del hierro de los barcos en la direccion de la aguja de la brújula. Muchos y muy ilustrados navegantes, como Parry, Ross, Sabine y Duperrey, estudiaron el modo de evitarla; primero, alejando toda pieza de hierro del sitio en que se coloca la brújula á popa, y luégo, estudiando de antemano la desviacion producida y procurando compensarla mediante la accion de masas de hierro situadas convenientemente. Los *compensadores magnéticos* ó *placas de correccion* propuestas por Barlow requieren que se estudien ante todo las desviaciones sufridas por la aguja por efecto de la accion del hierro del buque orientado en diferentes posiciones, comparando las indicaciones de su brújula con las de otra colocada en la playa; y luégo, que se averigüe por tanteo el punto en que se debe poner la placa de correccion para producir desviaciones iguales. Observando en seguida la brújula dos veces, la primera quitando la placa de correccion, y la segunda poniéndola de nuevo en su sitio, la diferencia es igual al doble del error buscado.

Pero siempre se tropieza con la dificultad de que el estado magnético de las masas de hierro del barco no es constante, como tampoco lo es el de las placas de correccion, pues ambas varían con la temperatura y con los cambios de latitud. Por otra parte, hoy que va en aumento el número de buques con casco de hierro ó cubiertos de una coraza de metal, dicha causa de error es más marcada, pareciendo positivo que la desviacion de la aguja imantada en los buques así construidos ha sido la principal causa de muchos siniestros. Cuando se remachan los pernos de un casco de hierro, se desarrolla un magnetismo intenso, se da lugar á la formacion de un iman, cuya direccion depende de la del eje del barco en construccion. Este magnetismo actúa sobre la aguja imantada instalada en seguida á popa, y esta accion pro-

(1) Usase este modo de suspension siempre que se quiere conservar á un objeto su posicion relativamente al plano del horizonte, cualesquiera que sean los movimientos del soporte. Se consigue suspendiendo el objeto por medio de dos muñones, de suerte que adquiera un movimiento de rotacion alrededor del eje de los mismos. Estos muñones descansan á su vez sobre los bordes de un marco móvil alrededor de otros dos muñones, cuyo eje tiene una direccion perpendicular á la del primer eje, y que se apoyan en el soporte de todo el sistema. La gravedad tiende de continuo á colocar el objeto suspendido en su primitiva posicion de equilibrio, gracias á las dos rotaciones simultáneas alrededor de los ejes. Por lo que hace á la aguja náutica, los dos muñones de la cubeta están en direccion perpendicular á la quilla, y los otros dos dirigidos paralelamente á esta.

duce una desviacion que se ha de calcular ó definir para evitar los errores de observacion. Mediante la instalacion de una brújula-tipo en otro punto de la embarcacion se puede hacer la correccion necesaria; pero tambien se apela á un medio que consiste en poner en sitios á propósito barras de hierro dulce ó imanes capaces de anular la desviacion. Por desgracia sucede, segun acabamos de decir, que, durante el viaje, el magnetismo propio del barco cambia de direccion é intensidad, y entónces es tanto mayor el riesgo cuanto más seguro se cree el marino.

Ya se emplee el procedimiento que consiste en determinar para cada buque la ley de las perturbaciones que sufre su brújula y en deducir por el cálculo una tabla de las correcciones que se han de aplicar á cada una de sus indicaciones, ó ya se neutralicen los efectos de desviacion valiéndose de imanes poderosos, es lo cierto que ambos procedimientos pueden ser y son con frecuencia deficientes. Segun lo demuestra la experiencia, durante el viaje ocurren cambios en la polaridad de los buques de hierro y en la posicion de los imanes con relacion al meridiano, de lo cual resultan forzosamente graves errores. «La desviacion de la brújula por efecto de la accion del hierro, dice M. Evan Hopkins, amenaza ser fatal para la vida y para los bienes de muchas personas. El número de barcos de hierro que se construyen en la actualidad excede con mucho del de los de madera, y sobre todo del de los destinados al trasporte de pasajeros. En el Canal de la Mancha y en otros puntos han ocurrido muchos siniestros, y durante estos últimos años han naufragado bastantes buques á consecuencia de las grandes desviaciones de sus brújulas. Por más que estos hechos están hoy plenamente demostrados, se supone que son males incurables, inseparables de los buques de hierro y á los cuales hay que resignarse porque es imposible evitarlos.»

El mismo autor enumera como sigue los remedios adecuados á precaver los peligros de las desviaciones de la brújula en los buques de hierro:

«1.° Neutralizar ó anular la polaridad adquirida por un buque de hierro durante su construccion, por medio de un iman de herradura;

»2.° Elevar la brújula á una altura tal, que esté fuera de la esfera de actividad de la atraccion ejercida por el hierro forjado de la embarcacion;

»3.° Poner un reflector cerca de la brújula, de modo que se pueda ver la rosa como la esfera de un reloj, y leer exactamente sus indicaciones á 20 piés de distancia del timon;

»4.° Poner una rosa muda en frente del timon para establecer la marcha del barco, para guiar al timonel, y evitar así los errores procedentes de las indicaciones verbales, pues la rosa de vientos y la muda estarán arregladas de modo que se correspondan mutuamente;

»5.° Construir y emplear agujas imantadas de la mayor fuerza directriz, para obviar la instabilidad y las oscilaciones excesivas;

»6.° Emplear agujas curvas preparadas para la navegacion por altas latitudes, en las que las agujas rectas son muy lentas en sus movimientos, siendo por consiguiente su direccion incierta.»

M. E. Duchemin ha construido una brújula circular, representada en la fig. 259 y que pa-

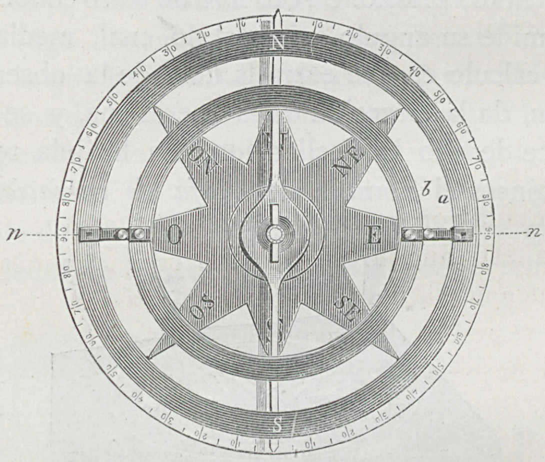


Fig. 259.—Brújula circular de Duchemin

rece tener cierta superioridad sobre las ordinarias. Responde en efecto al deseo expresado en la quinta condicion de las enumeradas por Hopkins, esto es, mayor fuerza directriz y estabilidad más segura. Se compone de dos círculos de acero concéntricos, imantados y unidos por un travesaño de aluminio. En los puntos marcados N S, la imantacion es máxima, y desde ellos disminuye gradualmente hasta los extremos del diámetro perpendicular *nn*, en donde es nula y donde constituye por tanto la línea neutra del sistema de los círculos imanta-

dos. Descansa sobre un eje y sobre una chapa de ónix.

En el trascurso de los años 1874, 1875, etc., se han hecho muchos experimentos comparativos en los buques del Estado, y todos ellos han resultado favorables á la brújula Duchemin. Se ha reconocido que su sensibilidad es superior á la de las agujas de las brújulas marinas ordinarias, lo cual consiste sin duda en que, á igualdad de peso, un anillo circular es susceptible de contener mayor cantidad de magnetismo que una barra. Tambien es más estable; sus oscilaciones son más lentas que las de la aguja; «como rosa de buen tiempo es excelente, porque no duerme, dice el autor de un dictámen dado sobre esta brújula; como rosa de temporales, ofrece una estabilidad mecánica que debe hacerla preferible á la brújula ordinaria.»

Asimismo se hace uso en la marina de una brújula que tiene precisamente por objeto el averiguar la declinacion magnética por una operacion enteramente análoga á la que dejamos descrita en el artículo II del capítulo IV del MAGNETISMO. Se observa un astro conocido, se mide su ángulo acimutal, lo cual, mediante un cálculo en que entra la hora de la observacion, da la direccion de la meridiana, y se deduce de ello la declinacion. La brújula toma entónces el nombre de *aguja de variacion* ó

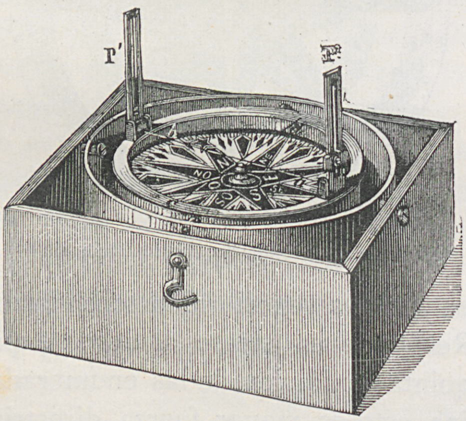


Fig. 260.—Aguja de variacion ó acimutal

acimutal. Es portátil, como la brújula de la fig. 30, no difiriendo de ella sino en que la lente está reemplazada por una alidada concéntrica, de pínulas P, P', diametralmente opuestas. La caja que contiene la aguja imantada con limbo graduado está suspendida á la Cardan. En el borde de esta caja hay dos hilos cruzados en ángulo recto, dando uno de ellos la direccion de las ranuras de las pínulas y por consiguiente la del plano de mira. Una de las pínulas lleva un espejo á 45° en el cual se refleja el arco y las divisiones correspondientes del limbo, al mismo tiempo que se ve el astro al través de las ranuras de las pínulas y de una línea del espejo de la que se ha quitado el azogue.

Miéntras un observador dirige la visual al astro, sea estrella, luna, ó sol, ó á un objeto

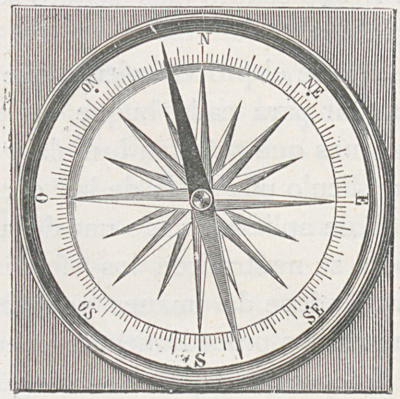


Fig. 261.—Aguja de declinacion

terrestre, y lee en el espejo la division que marca el ángulo de la aguja imantada con la vertical, otro observador efectúa una segunda lectura con el hilo tendido en ángulo recto en direccion de las pínulas, lectura que es comprobacion de la primera. Con este instrumento sólo se puede dirigir la visual á objetos poco elevados sobre el horizonte, de 15° á 20° á lo sumo.

A veces se instala la aguja acimutal en una plataforma, sobre la cubierta de la escala de popa.

II

LA BRÚJULA DE DECLINACION USADA EN GEOGRAFÍA Y EN GEODESIA

Los viajeros, en sus exploraciones geográficas continentales, y los geólogos que quieren conocer la direccion de las cordilleras de montañas ú otros accidentes del suelo, se valen de la brújula como los marinos, sólo que, como el instrumento es más fácil de instalar en una posicion fija, no requiere un modo de suspension tan complejo; basta un trípode al cual se sujeta la brújula con tornillos, y un nivel de aire para cerciorarse de la horizontalidad del

limbo. Con un pequeño anteojo de hilos reticulares, que se mueve paralelamente á la línea de fe en un plano vertical, se dirige la visual en direccion de la línea que se trata de orientar. Las brújulas más sencillas tienen una alidada de pínulas en vez de anteojo.

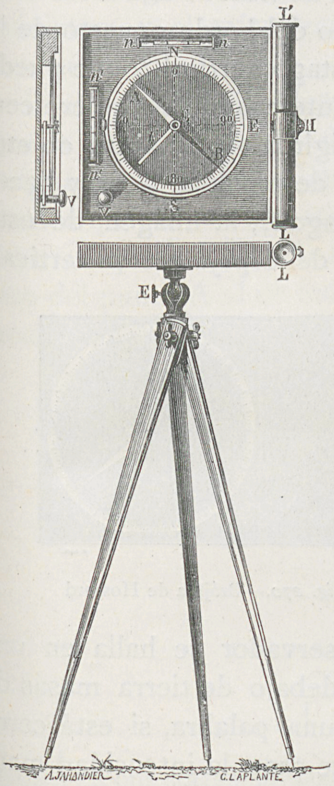


Fig. 262.—Brújula de los geómetras

Puesto que, cuando se conoce la declinacion magnética de un lugar, se puede averiguar rápidamente con la brújula el ángulo de una línea con la meridiana ó su orientacion, claro está que si se han determinado de este modo los ángulos acimutales de una serie de líneas horizontales, por ejemplo, los de los lados de un polígono, bastará deducir la diferencia entre estos ángulos para conocer los que las líneas forman entre sí. Más aún; si sólo se desea determinar ángulos del polígono, se conseguirá del mismo modo, sin necesidad de conocer la declinacion magnética. Basta para ello que durante la operacion sea constante la direccion de la aguja imantada, lo que es cierto en una medida suficiente durante el período ordinario de las operaciones topográficas. Tal es el principio del uso de la brújula en geodesia. Pero la medicion de los ángulos por este método no es ya bastante exacta cuando se quiere aproximar hasta medio ó un cuarto de grado; la oscilacion de la aguja, que dificulta la lectura del ángulo y las variaciones diurnas de la declinacion, á veces bastante considerables, son las principales causas de esta falta de precision.

Para levantamientos de planos perentorios, por ejemplo, los de reconocimientos militares, se han construido brújulas que ni siquiera dan la aproximacion que hemos indicado, por la sencilla razon de que el instrumento se sostiene en la mano y no en una instalacion fija. Describiremos dos ó tres de estos aparatos que pueden prestar grandes servicios en las circunstancias especiales en que se hace uso de ellos.

La *brújula de Burnier*, metida en una caja elíptica, se compone de una aguja imantada que lleva una banda cilíndrica muy delgada *a a a* (figs. 263, 264 y 265) la cual sirve de limbo y en la que hay trazadas divisiones verticales. La línea de mira la determina una crin O M N, fija por los dos cabos en los dos extremos de un diámetro de la caja, y que se tiende por medio de un arco elíptico A M B que gira alrededor de los puntos A y B y puede tomar

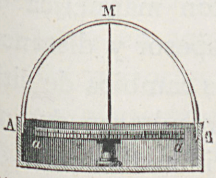


Fig. 263.—Brújula de Burnier: plano

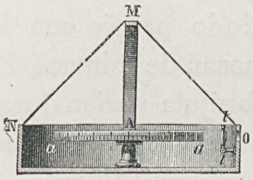


Fig. 264.—Brújula de Burnier: corte en direccion del eje menor

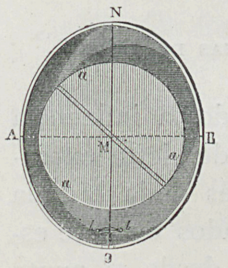


Fig. 265.—Brújula de Burnier: corte en direccion del eje mayor

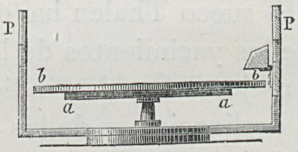


Fig. 266.—Brújula de Katter: corte

la posicion vertical que sirve para tesar el hilo, ó bien recogerse en la caja. Se leen las divisiones del limbo vertical por un orificio circular O practicado en la caja en el plano de la crin tirante, cuyo orificio está provisto de un cristal de aumento *ll* para facilitar la lectura. Al mismo tiempo que se dirige la visual á un punto remoto valiéndose de la crin á modo de alidada, se lee por el agujero ocular el número de la division del limbo vertical que aparece delante del ojo, y este número será la medida del ángulo que la línea visual forma con el meridiano magnético.

En la *brújula del capitan Katter* (figs. 266 y 267) la aguja *aa* lleva un limbo horizontal dividido *bb*; al mismo tiempo que se mira un

objeto por las pínulas P P, el ojo puede percibir por doble reflexion total, á través de un prisma *mnpq* (fig. 268), el número de la divi-

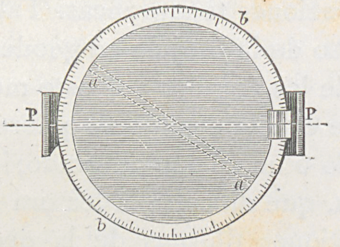


Fig. 267.—Brújula de Katter: plano

sion del limbo que se presenta debajo del prisma en el plano vertical de la línea de mira. A menudo se sustituye el prisma con un espejo plano inclinado 45° y que produce el mismo efecto.

En la *brújula de Hossard* (figs. 269 y 270) el limbo va fijado á la caja, la cual tiene una tapa que se abre á charnela y cuya cara interior es un espejo. En el plano vertical de simetría de este espejo se ha trazado una línea bien visible *ab*, y en medio del borde opuesto de la caja descuella un vástago vertical *tt* que puede bajarse horizontalmente cuando se quiere cerrar aquella. Para dirigir la visual á un objeto, es menester ponerse de espaldas á él, y hacer de modo que el vástago *tt*, la imágen de este vástago y la raya *ab* del espejo corten verticalmente la imágen del objeto. La medida del ángulo que forma la línea visual con el meridiano magnético se lee directamente en el limbo al mismo tiempo que se dirige la visual.

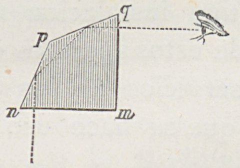


Fig. 268.—Prisma de reflexion total

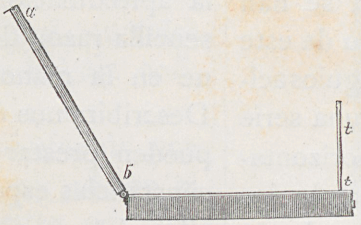


Fig. 269.—Brújula de Hossard: corte

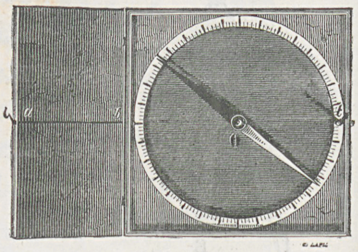


Fig. 270.—Brújula de Hossard

Las dimensiones de estas tres brújulas son bastante pequeñas para poder tenerlas en la mano durante el experimento y metérselas en el bolsillo una vez terminado este.

III

LA BRÚJULA Y LA BUSCA DE MINAS DE HIERRO

El sueco Thalen ha estudiado la influencia que los yacimientos de hierro de cierta extension ejercen en las indicaciones de la brújula de declinacion, y de los resultados de este estudio ha deducido reglas que, desde el punto de vista técnico, pueden tener importancia práctica y positiva para el arte del ingeniero geognosta.

Cuando se observa en cualquier sitio una brújula de declinacion y, valiéndose por ejemplo del método de las oscilaciones, se determina el valor de la componente horizontal del magnetismo terrestre en dicho sitio, esta componente no varía por lo general de un modo apreciable en una gran extension. Pero sucede lo contrario si el observador se halla en una region en que haya debajo de tierra masas de óxido de hierro, en una palabra, si está cerca de una mina. En este caso, la intensidad magnética que determina con ayuda de la brújula, es la resultante de las acciones combinadas del globo, por una parte, y de las masas perturbadoras, por otra. Cambiando de sitio en varias direcciones, obtendrá distintos valores de intensidad, porque si la componente horizontal del magnetismo terrestre continúa, segun acabamos de decir, sensiblemente constante, no sucede lo propio con la accion magnética de las masas de mineral, cuyo espesor y distancia á la brújula varían durante los cambios de sitio del observador. Así pues, la resultante de ambas acciones difiere, en las inmediaciones de las minas de hierro, y el estudio de estas variaciones puede proporcionar indicaciones sobre la extension y profundidad del yacimiento.

Tomando el valor de la intensidad en muchos puntos, se hallarán por lo ménos dos puntos *a* A en que este valor llegue á un mínimum y á un máximum. Reuniendo por medio de líneas los puntos del terreno en que dicha intensidad sea la misma y esté comprendida entre los dos valores extremos, resultarán cur-

vas á las que podrá darse el nombre de *isodinámicas*, por analogía con las isodinámicas terrestres. Estas dos curvas forman otros tantos sistemas, que rodean, uno el punto de intensidad mínimum *a*, y otro el de intensidad máximum A, separados por una línea casi recta en que la intensidad guarda un término medio entre el máximum y el mínimum, y que será la *línea neutra*.

Pues bien, M. Thalen ha demostrado: 1.° que la direccion general de la capa de mineral magnético es la de la línea que reune los dos puntos que forman los centros de los dos sistemas; 2.° que la distancia del meridiano magnético del punto A al de interseccion de la línea neutra con A *a*, es igual á la mitad de la distancia del centro de la masa del mineral á la superficie del suelo, siempre que esta masa se halle situada á gran profundidad. El sabio sueco deduce de aquí esta regla práctica: *que, para la explotacion, es menester excavar debajo del punto* A. Esta regla es aplicable *á fortiori* al caso en que el mineral esté muy cerca del suelo.

Las leyes del magnetismo explican los resultados de las investigaciones de M. Thalen, pero estos resultados han sido confirmados además por pruebas prácticas hechas en minas conocidas y explotadas, de todo lo cual se deduce fácilmente que el uso de la brújula para la busca de minas de óxido de hierro magnético será en adelante un auxiliar indispensable ó por lo menos muy útil del arte del ingeniero.

CAPÍTULO II

LOS PARARAYOS

I

PRINCIPIOS QUE SIRVEN DE BASES PARA LA CONSTRUCCION DE PARARAYOS

Arago enumera en su erudito *Tratado del Rayo* los varios procedimientos á que la preocupacion popular ó la de los hombres de ciencia ha venido atribuyendo la propiedad de disipar las tormentas ó de preservar del rayo, desde la antigüedad hasta la época de Franklin y áun hasta la nuestra. Gran parte de estos procedimientos no son otra cosa sino prácticas que tienen por orígen una creencia supersticiosa, y por lo tanto no merecen mencion especial. Algunos están basados en hipótesis que la práctica no ha justificado, ó acerca de los cuales la observacion ha dado hasta ahora resultados contradictorios.

Por ejemplo, se ha creido que encendiendo grandes hogueras al aire libre se quitaban en parte á las nubes sus propiedades fulminantes. Tal era la opinion de Volta, fundada sin duda en que las llamas, los gases caldeados son buenos conductores de la electricidad. Pero, en el caso citado de las hogueras, ¿se elevan las columnas gaseosas á suficiente altura para llegar á las nubes tempestuosas? Verdad es que se han citado localidades en que los campesinos tenian la costumbre de encender, al acercarse una tormenta, montones de paja esparcidos por los campos, cuyas localidades se libraron en efecto de los estragos del rayo ó del granizo. Mas por otra parte, tambien se ha dado el caso de estallar grandes incendios ántes ó durante una gran tempestad, sin que ni siquiera las nubes más próximas al lugar del siniestro parecieran privadas en lo más mínimo de su electricidad.

Los marinos y labradores han empleado tambien otro medio de disipar toda clase de nubes, y por consiguiente las tempestuosas, cuyo medio consiste en disparar cañonazos ó grandes petardos. Pero los ejemplos concluyentes que cita Arago en pro y en contra de este método prueban que dista mucho de ser de verdadera eficacia. Tampoco está demostrado que haya tenido jamás alguna influencia en la dispersion de las nubes, y del propio modo se podria sacar una deduccion contraria de los hechos conocidos.

Otro tanto debemos decir del sonido de las

campanas. La costumbre de repicar las de las iglesias durante las tormentas no tiene más orígen que la supersticion, y el efecto más seguro de esta costumbre es hacer correr á los campaneros un peligro efectivo para apartar otro mucho menor apelando á un preservativo imaginario. Y la verdad es que el rayo cae con preferencia en los objetos elevados, sobre todo en los que, como los campanarios, rematan casi siempre en piezas metálicas aisladas.

Desde Franklin que, como es sabido, inventó los pararayos, la ciencia no puede recomendar otro medio de preservar los edificios, las casas y sus habitantes, sino el que proporciona este aparato sencillo y casi siempre eficaz, con tal que se haya construido é instalado con las condiciones que la teoría y la práctica aconsejan como necesarias.

El pararayos es una aplicacion del poder que tienen las puntas metálicas de descargar los cuerpos electrizados situados cerca de ellas, y la idea de utilizar esta propiedad que el ilustre físico americano acababa de descubrir fué la consecuencia natural de su opinion sobre la identidad del rayo y del trueno con los fenómenos eléctricos. Sabemos que se efectuaron casi simultáneamente en 1752, en América y en Francia, los experimentos que demostraron esta identidad. Franklin remontaba por entónces en las cercanías de Filadelfia su famosa cometa armada de una punta y sacaba chispas de una nube tempestuosa. Hácia la misma época, el físico francés Dalibard comprobaba la realidad de las ideas sugeridas por Franklin, instalando una barra de hierro aislada, de 14 metros de altura, en el llano de Marly-la-Ville.

Poco tiempo despues se pusieron los primeros pararayos en Filadelfia. Estos aparatos pasaron de América á Europa, y el primero que se vió en Francia lo puso Guyton de Morveau en Dijon.

La instruccion más reciente sobre el uso y la construccion de pararayos la redactó una comision de la Academia de Ciencias, cuyo ponente, M. Pouillet, emitió su dictámen el 14 de enero de 1867. Este dictámen va á proporcionarnos los elementos de nuestra descripcion.

Empecemos por exponer la teoría de las nubes tempestuosas y de la accion de los pararayos sobre la electricidad contenida en ellas.

«1. Las nubes tempestuosas que entrañan el rayo no son otra cosa sino nubes ordinarias cargadas de una gran cantidad de electricidad.

El relámpago que surca el cielo es una inmensa chispa eléctrica cuyos dos puntos de partida lo forman dos nubes distantes entre sí y cargadas de electricidades contrarias.

El trueno es el ruido de la chispa.

El rayo es la misma chispa; es la recomposicion de las electricidades contrarias.

Cuando uno de los puntos de partida del relámpago está en la superficie del suelo, se dice que cae el rayo. Entónces todos los puntos del surco del relámpago siguen recomponiendo ó neutralizando las dos electricidades contrarias, una de las cuales sale de la nube y la otra de la misma tierra.

¿En qué consiste que, hallándose esta por lo general en su estado natural y sin electricidad aparente, está cargada de tal suerte de dicho flúido, y lo que es más, de un flúido contrario al de la nube en el momento mismo de caer en ella el rayo?

Esta es la primera cuestion que hemos de examinar.

2. Antes de estallar el rayo, la nube tempestuosa que lo lleva, áun cuando esté á muchos kilómetros de altura, obra por influencia para rechazar la electricidad del mismo nombre y atraer la de nombre contrario. Esta influencia propende á ejercerse sobre todos los cuerpos; pero en realidad no tiene eficacia sino sobre los que son buenos conductores, como por ejemplo, los metales, el agua, el terreno húmedo, los cuerpos vivos, los vegetales, etc.

El mismo conductor experimenta por parte de la nube efectos muy distintos, segun su forma y sus dimensiones, y sobre todo segun su perfecta ó imperfecta comunicacion con el suelo.

Por ejemplo, un árbol que esté en un terreno medianamente húmedo no recibe sino una influencia muy débil, porque la electricidad del mismo nombre no puede ser rechazada en dicho terreno, que es muy mal conductor para las grandes descargas eléctricas.

Pero si dicho árbol se halla en un terreno muy húmedo y de vasta extension, sufrirá una fuerte influencia, porque la electricidad del mismo nombre puede extenderse á lo léjos por

aquel buen conductor. Por último, dicha influencia llegará á su máximum cuando aquel buen conductor se halle á su vez en buena comunicacion hácia sus límites con otras capas de agua indefinidas.

Cuando se trata de la electricidad de nuestras máquinas, la superficie de la tierra, tal cual se presenta, es lo que se llama *tierra* ó *depósito comun*. Se puede llamar así, puesto que su conductibilidad es suficiente para dispersar ó neutralizar todas las pequeñas descargas eléctricas.

Cuando se trata del rayo, la tierra vegetal, en su estado ordinario, no es ya lo que se puede llamar depósito comun, sino que se convierte relativamente en un mal conductor, lo mismo que las formaciones geológicas en que descansa. Es preciso llegar á la primera capa acuosa, es decir, á la de los pozos que no se agotan jamás (la llamaremos aquí *capa subterránea*), para encontrar una cuya conductibilidad sea suficiente. Esta, en razon de su extension y sus múltiples ramificaciones, no puede estar aislada de las corrientes de agua inmediatas, constituyendo con ellas, con los rios y riachuelos y con el mismo mar, lo que se debe llamar el depósito comun de las nubes conductoras del rayo, y por consiguiente, de los pararayos.

En efecto, miéntras la nube tempestuosa ejerce en todos los puntos situados debajo de ella la influencia atractiva en el flúido del nombre contrario y repulsiva en el del mismo nombre, la capa subterránea es la que recibe especialmente dicha influencia con incomparable eficacia. Entónces toda su superficie superior se carga de electricidad contraria que la nube acumula en ella por su atraccion, al paso que la de igual nombre es rechazada y dispersada á lo léjos en el depósito comun. Así pues, cuando estalla el rayo, los dos puntos de partida del relámpago se hallan uno en la nube y otro en la capa subterránea, que es en cierto modo la segunda nube necesaria para la explosion del rayo.

Así es como el globo terrestre, sin cesar de permanecer en el estado natural en su conjunto, se electriza eventualmente en ciertos puntos por la presencia de nubes tempestuosas.

Los edificios, los árboles y los cuerpos vivos heridos por el rayo vienen á ser como los mediadores que se hallan en su camino y á los que acomete á su paso.

No vaya á creerse, sin embargo, que esos mediadores son esencialmente pasivos, y que no contribuyen nunca á modificar ó á determinar tal vez la direccion del rayo. Todo lo contrario; ejercen sin duda una accion tanto más notable cuanto mayor sea su extension y mejor su conductibilidad. Por ejemplo, cuando cae un rayo en un buque que se halle en alta mar, es más que probable que aquel no haya seguido el camino geométricamente más corto para llegar al agua en cuya busca iba y donde debe quedar neutralizado por el flúido contrario, sino que haya escogido el camino eléctricamente más corto en razon de las descomposiciones por influencia que la nube habia producido probablemente en los mástiles, los aparejos y otros cuerpos conductores del buque, colocados á mayor ó menor altura.

Este fenómeno es análogo al que presenta la chispa sacada á gran distancia de los conductores de una poderosa máquina eléctrica; puede ser desviada de su camino más directo por haberse interpuesto en él uno ó muchos conductores aislados; da en el punto designado, pero llega á él por una via eléctricamente más corta, áun cuando al parecer sea más larga.

Estos conductores aislados cambian aquí la direccion de la chispa; los mediadores á que ántes hemos aludido cambian la del relámpago.

Nos limitamos al simple enunciado de este principio fundamental que no podemos desarrollar aquí; contiene la explicacion de todos los movimientos, tan raros á veces, de los rayos y de los efectos destructores que producen; jamás se puede dar exacta cuenta de ellos sin haber reconocido bien los dos puntos de partida, y entre estos dos puntos la serie de los intermedios á los que ha llegado el surco del relámpago, ora simple, ora múltiple.»

Aquí termina la parte téorica del dictámen, la que, en la mente de los individuos de la comision, sirve de base á las indicaciones prácticas formuladas á continuacion para la construccion é instalacion de pararayos. Reasumamos ahora estas indicaciones en lo que contienen de esencial.

II

DESCRIPCION Y DISPOSICION DE LOS PARARAYOS

Un *pararayos* no es otra cosa sino un buen conductor, no interrumpido, cuyo extremo superior se eleva á bastante altura para dominar el edificio que debe proteger, y el inferior comunica extensamente con la capa de agua subterránea.

Como el rayo puede fundir ó volatilizar alambres de pequeño diámetro (hasta 6 milímetros), pero no calentar hasta el punto de ponerlas al rojo oscuro barras de hierro cuadradas de 15 milímetros de lado, se elegirán barras de hierro de esta dimension para conductores de pararayos.

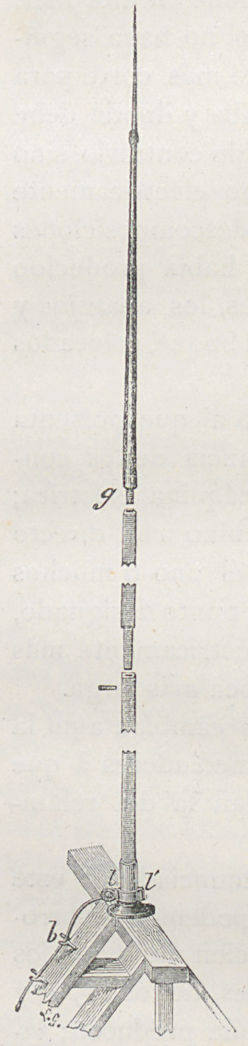


Fig. 271.—Barra vertical del pararayos

Estos constan de dos partes principales: la *barra* y el ó los *conductores*. Hé aquí la descripcion de cada una de ellas:

La barra de hierro, que forma la extremidad superior, debe terminar en un cilindro de cobre rojo de 2 centímetros de diámetro y de 20 á 25 centímetros de longitud, que entra á tornillo en la barra (fig. 271). Este cilindro remata á su vez en un cono. Debajo, la barra es cuadrada y aumenta progresivamente de grueso hasta el punto de su insercion en el conductor, midiendo en él su seccion unos 4 ó 5 centímetros de lado. Por último, segun las circunstancias, la altura total de la barra varía entre 3 y 5 metros.

En otro tiempo se recomendaba que la barra terminara en una punta fina y muy aguda de oro ó de platino, pero sucedia que á la primera tormenta la electricidad se escapaba por la punta en forma de penacho luminoso visible en las tinieblas; al trasportarse hasta la nube el aire vivamente electrizado, neutralizaba, segun se creia, una porcion del flúido de aquella. Mas la intensidad del flujo eléctrico era tambien bastante fuerte para ocasionar la fusion de la punta de oro ó platino, de suerte que al cabo de poco tiempo la punta aguda desaparecia, reemplazándola un ancho boton de fusion del metal.

Por consiguiente, la accion preservativa de la punta aguda que originaba la salida de la electricidad en forma de penacho luminoso sólo duraba un tiempo limitado, escasa ventaja, si es cierto que el aire electrizado por la barra, en lugar de remontarse hasta la nube, era arrebatado lateralmente por el viento. Por esta razon se da hoy la preferencia á las barras terminadas en un cilindro de cobre rematado en un cono, si bien en el sistema de pararayos de puntas múltiples se han adoptado las puntas agudas, segun más adelante veremos.

La punta del pararayos, formada de este modo, no dará paso á penachos luminosos;

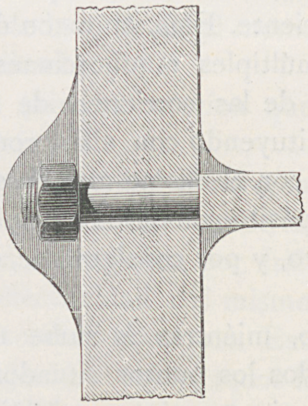


Fig. 272.—Soldadura de la barra vertical y del conductor

pero, en razon de su forma y de la gran conductibilidad del cobre, resistirá mucho más á la fusion, sin ser ménos eficaz por lo que respecta á la proteccion del edificio. Lo esencial es que la corriente eléctrica que pasa de la nube al pararayos cuando estalla el rayo, encuentre un camino no interrumpido desde la barra hasta la capa de agua subterránea.

La barra metálica que sirve de conductor y que, segun hemos dicho, tiene unos 15 milímetros de diámetro de seccion, debe estar soldada con cuidado á la otra barra, que á su vez estará sólidamente fija en la parte culminante del edificio. Todas sus partes sucesivas, horizontales, verticales ó inclinadas, estarán unidas entre sí por curvas y soldadas con el mismo cuidado en los puntos de union. Para dar al conductor

mayor fijeza se le sostendrá con soportes de hierro ahorquillados por los que podrá pasar longitudinalmente sin moverse á uno ni á otro lado.

A veces se sustituyen las barras rígidas que forman el conductor con cables formados de alambres de hierro embreados para evitar que se oxiden (1), pero entónces hay que cuidar de que la comunicacion del cable con la barra se efectúe por el contacto más ancho posible de las superficies metálicas de la barra y de los alambres los cuales deben estar perfectamente limpios y soldados al hierro de la barra.

Otra condicion esencial consiste en que todas las partes metálicas del edificio estén unidas entre sí y comuniquen con el conductor del pararayos.

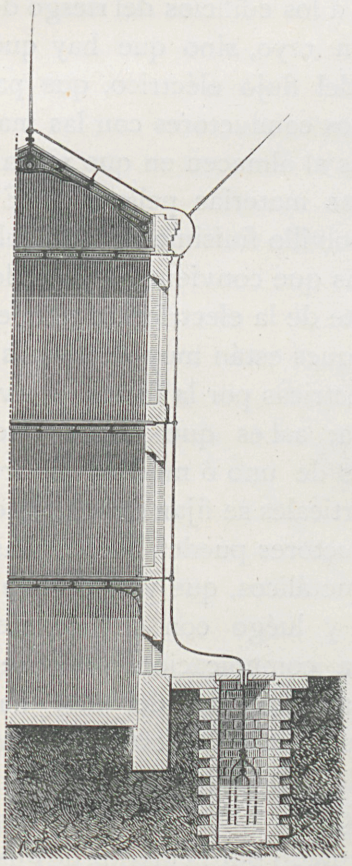


Fig. 273.—Instalacion de un pararayos: barras verticales y oblicuas

Pero la más principal de todas, la que, descuidada, haria del pararayos, en lugar de un protector contra el rayo, un aparato peligroso en tiempos de tempestad, es la siguiente. Se requiere que el conductor, al llegar al suelo, penetre en él á bastante profundidad para estar en comunicacion constante con la capa de agua subterránea. Para ello se deberá hacer un pozo especial de condiciones tales que tenga lo ménos un metro de agua, áun en las mayores sequías. Si hay cerca del conductor corrientes, rios ó riachuelos bastante caudalosos para no agotarse durante las sequías, bastará ponerlo en comunicacion constante con la masa líquida.

Por lo demás, nada se opone á que se ponga el conductor en comunicacion con la capa superior del terreno, que forma un depósito suplementario cuando está suficientemente empapado de lluvia; pero esta precaucion no bastará si no está combinada con la condicion principal de disponer de un pozo en el que penetren varios brazos del conductor, segun se ve en la figura 273. Cuando un brazo lateral está en contacto con el suelo, se le rodea de una capa de cisco, cuerpo buen conductor de la electricidad, y que sirve además para preservar el hierro del orin.

La superficie sumergida del conductor debe ser todo lo grande posible. Los experimentos de Pouillet y de E. Becquerel han demostrado que la resistencia del agua destilada al paso de la electricidad es por lo ménos 900 millones de veces tan grande como la del hierro. Por consiguiente, para que la capa de agua en que penetra el conductor del pararayos no fuese fulminante, se necesitaria que la superficie sumergida tuviese una extension 900 millones de veces mayor que la seccion del conductor, es decir, unos 4000 metros cuadrados, suponiendo que la barra de hierro tuviese 15 milímetros de diámetro. En realidad, el agua de las capas subterráneas dista mucho de ser pura; su conductibilidad excede con mucho á la del agua pura, á causa de las sales que contiene en disolucion, y la superficie sumergida puede ser mucho menor. Los constructores Perrot y Callaud, que se han ocupado mucho de las condiciones de eficacia de los pararayos, han llamado hace tiempo la atencion hácia tan delicado punto.

Muchos ejemplos demuestran la eficacia de los pararayos, mas para que esta sea efectiva importa que los que se instalen llenen todas las condiciones que dejamos enumeradas. Re-

(1) Jamás se debe usar por conductor una cadena metálica; como dice Pouillet en la *Instruccion suplementaria* de la Academia de ciencias: «la forma de cadena es inadmisible de todo punto, y hé aquí por qué: los eslabones se tocan imperfectamente á causa de las alteraciones del metal y de los cuerpos extraños que se adhieren á él, y áun suponiendo que las superficies de los puntos de contacto estén bien limpias, siempre sucede que son demasiado estrechas, y que basta una débil descarga para poner el hierro en fusion y en combustion.»

quiérese tambien que el número de pararayos y la altura de las barras estén en relacion con las dimensiones de los edificios que deben guarecer. La experiencia ha demostrado que cuanto mayor es la altura de la barra vertical sobre el tejado del edificio, es decir, sobre su punto de insercion con el conductor, mayor es tambien su esfera de accion. Por otra parte, el radio de esta esfera es casi igual al doble de la altura de la barra. Estos datos bastan para determi-

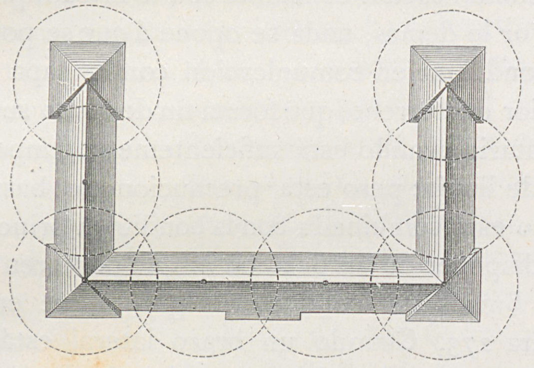


Fig. 274—Límites de proteccion de un sistema de pararayos instalados en un edificio

nar el número de pararayos que se deben poner en cualquier casa ó edificio, pudiéndose aconsejar, con Arago, esta regla general: «Cuanta ménos altura tengan las barras, mayor deberá ser su número, el cual será suficiente cuando en un tejado ó azotea no haya ningun punto cuya distancia á la barra más inmediata sea mayor que el doble de la altura de esta barra sobre su base.»

Cuando el edificio es poco alto pueden bastar los pararayos verticales: en el caso contrario, se han de resguardar especialmente las partes laterales, porque no faltan ejemplos de haber caido rayos en puntos de edificios mucho ménos elevados que sus cúspides. Algunas barras puestas oblicua y áun horizontalmente darán por resultado el descargar las partes sueltas de las nubes que en las tormentas suelen bajar hasta poca altura del suelo, y contra las cuales no ejercen accion neutralizadora las puntas verticales de los pararayos. Es inútil decir que estas barras oblícuas han de tener sus conductores como las verticales. Por lo demás será ventajoso poner todas las barras de los pararayos de un mismo edificio en comunicacion por medio de varillas metálicas que se corran á lo largo de las aristas superiores del edificio; pero en cuanto sea posible, todas tendrán su conductor separado; no hay inconveniente en que vayan á parar muchos conductores á un mismo pozo; pero si se reunen muchas barras en una sola, habrá que dar á esta una seccion en proporcion con el número de conductores cuyas veces haga.

Entre los edificios que más importa preservar de los efectos del rayo, figuran los almacenes que contienen materias explosivas ó fulminantes, los polvorines, etc. Pero entónces, en lugar de poner los pararayos en la parte superior de los edificios, es preferible rodearlos de postes de madera ó columnas de mampostería, en cuyo extremo se instalan las barras. Fácilmente se comprende la razon de esta disposicion y de esta precaucion: en este caso no basta preservar á los edificios del riesgo de que caiga en ellos un rayo, sino que hay que evitar el contacto del flujo eléctrico, que pasa por las barras y los conductores con las masas de aire inmediatas al almacen en que se fabrica ó hay depositadas materias peligrosas. En este aire flota un polvillo finísimo de moléculas inflamables, de las que conviene alejar todo lo posible la corriente de la electricidad tempestuosa.

Los buques están muy expuestos á las descargas eléctricas por la forma y elevacion de su arboladura; así es que importa sobremanera proveerlos de uno ó muchos pararayos, cuyas barras verticales se fijan en el tope de los palos. Los conductores pueden ser varillas de hierro ó cables metálicos, que van á reunirse con los obenques y luégo con el forro de cobre del casco. La comunicacion, siempre constante, con la masa inmensa del mar hace siempre eficaz la proteccion de estos aparatos.

El inglés M. Harris ha discurrido un sistema de conductores para los pararayos de los buques, adoptado por la marina de guerra inglesa, y que ofrece sobre los cables ó barras metálicas la ventaja de adaptarse á todos los movimientos. Este sistema consiste en anchas placas de cobre que rodean el mástil y comunican con el forro, de lo cual resulta que cuando en algun fuerte temporal la violencia del huracan rompe los palos, el rayo encuentra siempre un sistema de conductores bastantes para descargar el flúido y hacerle inofensivo. Arago refiere que la fragata inglesa *Dryad* se halló muchas veces

expuesta en la costa de Africa á los grandes temporales que los marinos llaman *tornados* (el barco llevaba los nuevos pararayos de Harris). La materia fulminante bajaba entónces á lo largo de los tubos de cobre continuos en tal cantidad, que daba orígen á una especie de atmósfera luminosa y á un ruido parecido al del agua que hierve con fuerza. El barco no sufrió daño alguno del flúido eléctrico.

III

SISTEMAS DE PARARAYOS DE PUNTAS MÚLTIPLES

Segun los experimentos efectuados en 1862 por M. Perrot, las barras metálicas ejercen una accion neutralizadora tanto mayor cuanto más aguda es su punta terminal; además, basta multiplicar las puntas terminales de una barra metálica para aumentar su accion neutralizadora; pero esta accion no se ejerce sino en la region situada sobre el plano horizontal que pasa por cada punta. Al dar M. Gavarret cuenta de estos experimentos, deducia de ellos que seria ventajoso introducir algunas modificaciones en la construccion de los pararayos. Hé aquí en qué términos formulaba dicho profesor estas modificaciones:

1.° Se haria *la accion neutralizadora del pararayos mucho más eficaz* armando su *extremo superior* de una corona de puntas;

2.° Se le pondria al abrigo de los rayos lanzados lateralmente sobre la barra por los fragmentos de nubes tempestuosas abatidas por el viento, armándola de la base al remate

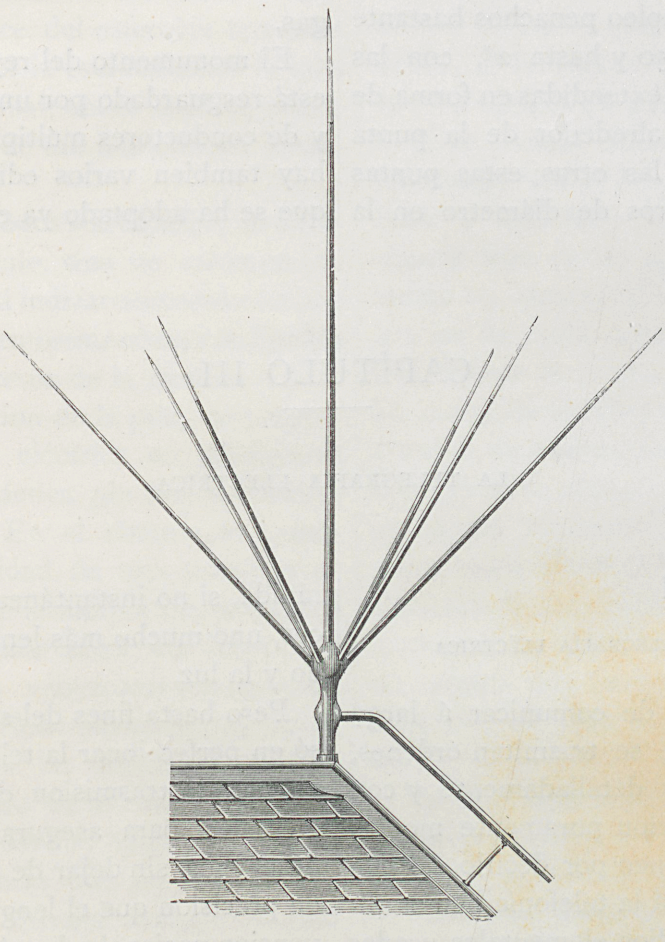


Fig. 275.—Pararayos de puntas múltiples

de cierto número de puntas laterales convenientemente dispuestas y espaciadas. Estas puntas múltiples, al mismo tiempo que aumentarian considerablemente la cantidad de electricidad suministrada por el pararayos en un tiempo dado, tendrian la ventaja de dividir la corriente; con lo cual cada una de ellas estaria cruzada tan sólo por una corriente demasiado débil para fundirla, áun en las más deshechas tormentas.

Hoy se han adoptado los pararayos de puntas múltiples en varios países, y en especial en

Bélgica, en donde distinguidos físicos, como Glœsener y Melsens, han estudiado las condiciones de su instalacion en los edificios públicos y privados. Segun M. Melsens, «en lugar de emplear una sola barra larga y aguda, de instalacion costosa, es más ventajoso usar penachos de 6 ó 7 puntas, de 1 metro á $1^m,50$ ó 2^m de altura á lo sumo, y multiplicar su número en los conductores, lo cual puede hacerse á poca costa. En efecto, diez penachos de cobre con sus 60 á 70 puntas delgadas, no cuestan tanto como una sola barra del antiguo modelo, y si se cree tener bastante con el hierro galvanizado labrado en punta, doscientas ó trescientas puntas, diseminadas por la parte culminante de los edificios, en forma de penachos de 5, 6 ó 7 puntas delgadas, no costarán tanto como una sola barra de regular altura. Por lo comun, dice el mismo físico, empleo penachos bastante cortos, de $0^m,50$ á $1^m,50$ y hasta 2^m, con las puntas inclinadas 45° y extendidas en forma de abanico ó de canastillo alrededor de la punta central más larga que las otras; estas puntas tienen de 6 á 8 milímetros de diámetro en la base. Se las puede hacer de cobre rojo ó de hierro y zinc; tambien se puede emplear un alambre de estos dos metales, terminado en una punta aguda de cobre rojo, disposicion análoga á la empleada por la Academia para las grandes barras.»

En la Casa consistorial de Bruselas se ha instalado un sistema de puntas y penachos muy numerosos en todas las partes salientes y culminantes estando unidas entre sí por una red de conductores que encierran todo el edificio como en una jaula metálica. Hase establecido muy extensamente la comunicacion con tierra; los conductores del pararayos aéreo van á parar á una caja de hierro galvanizado del que parten tres series de alambres subterráneos; una de ellas penetra en un pozo y las otras dos están empalmadas á las cañerías de agua y de gas.

El monumento del rey Leopoldo en Laeken está resguardado por un sistema de penachos y de conductores múltiples análogo; en Francia hay tambien varios edificios públicos en los que se ha adoptado ya este mismo sistema.

CAPÍTULO III

LA TELEGRAFIA ELECTRICA

I

INVENCION DE LA TELEGRAFÍA ELÉCTRICA

La *telegrafía*, ó arte de comunicar á larga distancia, de modo que se trasmitan órdenes, noticias, é instrucciones detalladamente y con precision, es una invencion puramente moderna, un arte contemporáneo por decirlo así. En el capítulo consagrado á la telefonía hemos dicho cuáles eran los medios elementales usados desde tiempo inmemorial por todos los pueblos para ponerse en rápida correspondencia á grandes distancias: las hogueras, las bocinas, la voz humana trasmitida de centinela en centinela, los cañonazos, las señales marítimas consistentes en combinaciones de objetos visibles, todos estos medios se basaban en la propagacion rápida, si no instantánea, de dos agentes físicos, uno mucho más lento que el otro, el sonido y la luz.

Pero hasta fines del siglo pasado no se pensó en perfeccionar la telegrafía haciéndola servir para la trasmision de despachos gubernamentales, para asegurar el secreto de estos despachos, sin dejar de darles el mismo grado de precision que el lenguaje mismo. La Convencion nacional adoptó en 1793 los telégrafos aéreos de Chappe, y al poco tiempo se difundieron por todos los países civilizados. Pero áun ántes de idearse estos telégrafos, se habian hecho varios ensayos de otro género: una ciencia nueva, la electricidad, habia venido á revelar la existencia de un agente que se propagaba con velocidad comparable á la de la luz, y en

todas partes se concibió la idea de utilizar los fenómenos de este agente para las comunicaciones rápidas. Aún no habian trascurrido cincuenta años, cuando el telégrafo eléctrico estaba inventado y destronaba al aéreo.

Hoy surcan el globo entero los alambres que sirven para trasmitir el pensamiento humano con la velocidad del rayo para las necesidades del comercio, de la política, de la ciencia, lo mismo que para la correspondencia privada. Forman una red de longitud asombrosa, que no tan sólo se extiende por los continentes, sino que cruza los océanos y une á todas las naciones del mundo, desde Europa hasta las Indias, en Africa, Australia y América. Esta maravillosa cadena llegará en breve desde el continente americano al Japon y á la China, atravesando el Pacífico en toda su extension y completando así el enlace del esferoide terrestre. Más adelante daremos la estadística de la telegrafía eléctrica universal; ahora acabaremos de bosquejar la historia de tan maravillosa invencion.

Para trazarla con todos sus detalles, se necesitaria no ya un capítulo, sino un volúmen entero. Aquí nos bastará indicar someramente sus principales fases, y demostrar cómo van ligadas con los mismos progresos de la ciencia.

Antes de la invencion de la pila, los proyectos de comunicacion eléctrica no produjeron ninguna aplicacion práctica, por más que fueron bastante numerosos. En el sistema de Lessage (1774), la electricidad de una máquina se trasmitia por alambres aislados á electroscopios cuyos movimientos marcaban las letras del alfabeto; habia pues veinticuatro hilos para otras tantas letras. Más adelante, en 1798, Bethencourt sustituyó las descargas de una botella de Leyden á las de una máquina ordinaria, y se instaló el sistema entre Aranjuez y Madrid, en una distancia que no baja de 44 kilómetros. Era un sistema análogo al que construyó el físico francés Lomond en 1787. Reiser en 1794, Cavallo en 1795, Salvá en 1796 y por fin Ronald en 1823 se valieron tambien de la electricidad astática para la trasmision de señales, modificando el modo de indicacion, por ejemplo, utilizando las chispas que se hacen brotar de los cuadros centelleantes.

El descubrimiento de la pila encaminó á los inventores por una vía más interesante y más inmediata á la solucion verdadera. El americano Coxe en 1800, Sœmmering en 1811 y Schweigger, el inventor del multiplicador, en 1828, tuvieron sucesivamente la idea de aprovechar las propiedades químicas de la corriente voltaica. Las burbujas de oxígeno y de hidrógeno procedentes de la descomposicion del agua marcaban, al desprenderse en una de las estaciones, varias señales convenidas que se reproducian en la otra estacion, es decir, en el extremo opuesto de los alambres, mediante interrupciones sucesivas de la corriente.

Un nuevo progreso de la ciencia, el descubrimiento de la accion de las corrientes sobre la aguja imantada (Œrsted 1820), fué el punto de partida de nuevas investigaciones, que condujeron por último al objeto apetecido. El año mismo de este descubrimiento capital, Ampère definia dicho objeto, é indicaba en estos términos los medios de alcanzarlo:

«Con tantos hilos conductores y agujas imantadas como letras hay, dice este ilustre físico y filósofo, y con el auxilio de una pila situada léjos de las agujas y puesta alternativamente en comunicacion por sus dos extremos con los de cada conductor, se podria formar una especie de *telégrafo* á propósito para escribir todos los detalles que se quisiera trasmitir á través de cualesquiera obstáculos á la persona encargada de observar las letras colocadas en las agujas. Poniendo sobre la pila un teclado cuyas teclas llevaran las mismas letras y estableciesen la comunicacion al bajarlas, seria fácil conseguir un sistema de correspondencia que no exigiria más tiempo que el necesario para tocar por un lado y leer por el otro cada letra.»

No se realizó la idea de Ampère tal como él la habia formulado; hubiera sido demasiado grande el número de galvanómetros, cada uno de los cuales debia corresponder á una letra del alfabeto ó á cualquier otro signo trasmisible; pero cuando describamos el telégrafo electromagnético de agujas veremos que dicha idea es el principio en que se ha basado su construccion. Al ilustrado inglés Wheatstone se deben los perfeccionamientos y simplificaciones que han dado á la idea de Ampère toda su importancia práctica.

Pero esta idea se aplicó de varios modos ántes de llegar á realizarla por completo: Schilling la llevó al terreno de la práctica en 1833 en San Petersburgo, pero en pequeña escala. «Cinco alambres de platino metidos en un cable de seda iban á parar á un multiplicador, cada cual por uno de sus extremos, y por el otro á un teclado como el de un piano. Emitíase la corriente de la pila á cualquiera de los alambres bajando la correspondiente tecla, y la aguja se inclinaba á un lado ó á otro, segun el sentido de la corriente, lo cual formaba, con las cinco agujas, diez signos diferentes. Richtie y Alexander construyeron en 1837 en Edimburgo un aparato por el mismo sistema: tenia treinta agujas que correspondian á otros tantos alambres tendidos entre las dos estaciones y á igual número de signos. Gauss y Weber emplearon tambien esta clase de aparato para poner en comunicacion el gabinete de física con el observatorio de Gothinga. Sin embargo, la corriente emitida era de orígen electro-magnético: las desviaciones á derecha é izquierda de la aguja correspondian á los movimientos de un carrete, unido á los hilos de la línea, alrededor de un fuerte iman cilíndrico, de donde nacian corrientes de sentido contrario alternativamente.

Llega la época (1837 y 1838) en que la telegrafía eléctrica pasa del período de las pruebas y de los tanteos al de la realizacion verdaderamente práctica, y los nombres de Wheatstone, Steinheil, Morse, Mason y Breguet nos traen á la memoria los importantes trabajos, descubrimientos y adelantos que caracterizan á los diversos sistemas sucesivamente adoptados. Suspenderemos pues las ojeadas históricas para entrar en la descripcion de estos sistemas, mas al terminar debemos recordar con un ejemplo hasta qué punto se enlazan las aplicaciones de la ciencia con los progresos verdaderamente científicos. A no haber sido por el descubrimiento de las nuevas pilas, y por la sustitucion de las corrientes constantes á las de las pilas primitivas, probablemente estaria aún en la infancia el arte maravilloso de la telegrafía eléctrica, la cual no habria pasado de ser una aplicacion curiosa de la física en vez de un invento de utilidad y uso universales.

II

EL TELEGRAFO ELÉCTRICO.—TEORÍA GENERAL

Hemos visto que si en un pedazo de hierro dulce se enrolla en hélice ó espiral un hilo metálico aislado, se forma un *electro-iman*, es decir, un iman temporal, cuyo poder magnético subsiste miéntras dura el paso de una corriente eléctrica, cesando tan luégo como ésta queda interrumpida. Tambien sabemos que esta imantacion transitoria es instantánea, y que cesa con la misma rapidez con que ha tenido orígen. De aquí resulta que, si por un medio cualquiera, se hace pasar una corriente eléctrica por la hélice del electro-iman, y luégo se la anula en una serie rápida de operaciones compuestas de esta doble operacion elemental, se reproducirá y cesará el mismo número de veces la atraccion de la armadura del iman por sus polos. Háse aprovechado esta propiedad para obtener una serie de movimientos alternativos de la armadura, para lo cual basta proveerla de un muelle que la mantenga á corta distancia de los polos sin impedir que se ponga en contacto con estos cuantas veces pase la corriente.

Se ha basado en este principio la construccion de máquinas que han recibido el nombre de *máquinas electromotrices*, porque la electricidad es la generatriz del movimiento que producen. Este movimiento, que se ha tratado de utilizar en concepto puramente mecánico, segun veremos en otro capítulo, sirve para producir signos que se pueden trasmitir con grandísima rapidez á distancias considerables, gracias á la inconcebible velocidad con que la electricidad se propaga por un alambre conductor. Tal es, reducido á su mayor sencillez, el modo de movimiento más generalmente adoptado en los varios sistemas que componen la telegrafía eléctrica.

Sin embargo, en algunos de ellos la corriente eléctrica actúa, ya directamente sobre las agujas de un galvanómetro, ó ya indirectamente en virtud de sus propiedades químicas ó electrolíticas. Pero, cualquiera que sea el modo de accion de la electricidad, todo telégrafo eléctrico se compone necesariamente de las partes siguientes:

1.ª Un aparato productor de la corriente, es decir, de un *electromotor;* es una pila voltai-

ca, pero tambien se podria emplear, y se emplea á veces, una máquina de induccion magneto-eléctrica;

2.ª Un aparato de trasmision que forma un circuito ó *conductor* electro-dinámico; es el hilo ó los hilos de línea que enlazan las estaciones de partida y de llegada de los signos;

3.ª Un aparato productor de signos llamado *manipulador;* es el que maneja la persona que trasmite el despacho;

4.ª Un aparato receptor, en el que se reproducen los signos en la estacion de llegada, y al cual se da el nombre de *receptor.*

En breve veremos que en un telégrafo eléctrico hay otros aparatos secundarios, como los timbres, los relevadores de corrientes, los pararayos, etc., cuya descripcion haremos en su lugar oportuno.

Estos son los principios de la telegrafía eléctrica, tal como se la viene practicando hasta el presente. El número de sistemas que han estado y están todavía en uso en la red universal es bastante crecido. Tan sólo podemos ocuparnos aquí de los más usados y entre estos de los más originales, esto es, de los que se distinguen por alguna idea característica, por un mecanismo especial ó la particularidad de los signos. Por este último concepto, se pueden clasificar en cinco grupos los telégrafos eléctricos conocidos:

1.° Los *telégrafos de agujas,* que son aquellos cuyos receptores se componen de agujas imantadas sometidas á la accion inmediata de la corriente que circula por el alambre de la línea, de lo cual resultan desviaciones á derecha ó á izquierda que constituyen los elementos mismos de las señales.

2.° Los *telégrafos de cuadrante,* cuyo receptor consiste en una esfera ó cuadrante provista de una aguja indicadora á la cual imprime su marcha un electro-iman, sometido á su vez á la accion de una corriente alternativamente emitida por el hilo é interrumpida.

3.° Los *telégrafos escritores,* en los que el despachado trasmitido queda marcado en el receptor, en una cinta de papel que se va desarrollando de un modo continuo; un punzon ó una laminilla de acero cuyo movimiento es debido al paso y á la interrupcion de la corriente, produce los signos de relieve ó los marcados con tinta.

4.° Los *telégrafos impresores* en los que el despacho resulta impreso en caractéres tipográficos por lo cual no hay necesidad de traducirlos.

5.° Por último, los *telégrafos autográficos,* que no tan sólo reproducen el texto, sino hasta el facsímile del despacho; de modo que se pueden expedir y reproducir firmas y dibujos con su forma original. Por este motivo, se ha dado á dichos aparatos el nombre de *pantelégrafos* (de griego *pan* que significa *todo).*

Pasemos ahora á ocuparnos de los detalles del mecanismo de los principales sistemas de telegrafía cuya enumeracion acaba de leerse.

III

LOS TELÉGRAFOS ELÉCTRICOS DE AGUJAS

Empecemos por los telégrafos eléctricos de agujas que, segun hemos dicho ántes, han sido los primeros sancionados prácticamente por la experiencia.

M. Wheatstone fué su inventor.

En un principio empleaba este ilustre físico cinco galvanómetros, lo cual requeria cinco hilos de línea, contando el de regreso. Las agujas estaban colocadas delante y en la línea central de un rombo, y los galvanómetros correspondientes detrás del cuadro, así como las puntas de los hilos de cada uno de ellos. Cuando se emitia la corriente con el manipulador á través de dos de los cinco galvanómetros en diferente sentido, las dos agujas se inclinaban á la vez, se colocaban diagonalmente y dirigian su punta hácia una de las letras inscritas en el cuadro. Por ejemplo, las agujas 1 y 4 (fig. 276) que dirigen sus puntas superiores á lo alto del lado izquierdo del cuadro, marcan la letra B; al pasar la corriente por ambos galvanómetros en sentido opuesto, dirigen las agujas sus puntas inferiores hácia la parte de abajo del cuadro, y marcan la letra V. Cuando se pone en movimiento una sola aguja, marca una de las cifras inscritas en los bordes inferiores del cuadro.

Dos cuadrantes iguales unidos entre sí por los cinco hilos de la línea daban á la vez las mismas indicaciones, cuando la persona que trasmitia el despacho manejaba el manipulador. Cuando este estaba en reposo, todos los circuitos estaban cerrados unos por otros. Bajan-

do dos de los botones marcados con las cifras 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18, situados en dos filas horizontales diferentes, pasaba la corriente por los dos galvanómetros correspondientes, despues de recorrer á la vez los hilos de la línea y de poner en movimiento las mismas agujas del cuadrante receptor.

No describiremos el mecanismo del manipu-

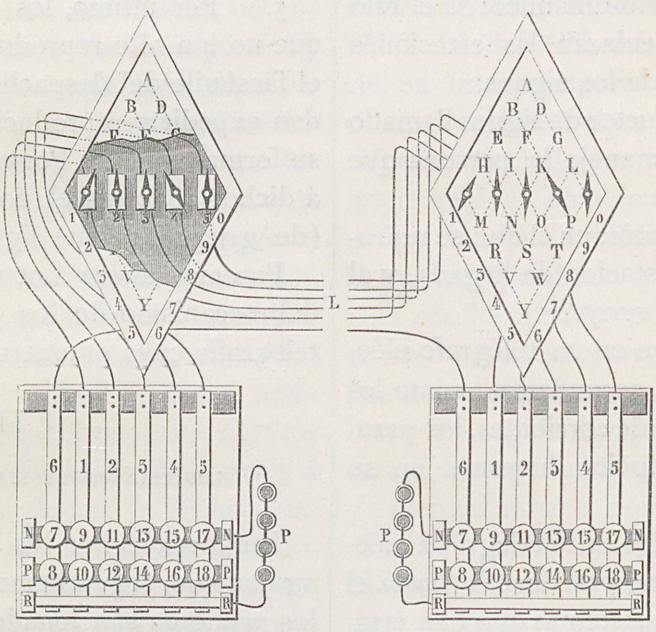


Fig. 276.—Telégrafo de cinco agujas de Wheatstone

lador de este sistema, que si bien funcionó con éxito en el ferro-carril de Lóndres á Birmingham, fué reemplazado por otro sistema más sencillo. Y en efecto, M. Wheatstone asociado con M. Cooke, lo modificó en breve reduciendo el número de galvanómetros á dos y hasta á uno, de cuya modificacion resultaron los telégrafos de una y de dos agujas, que se adopta-

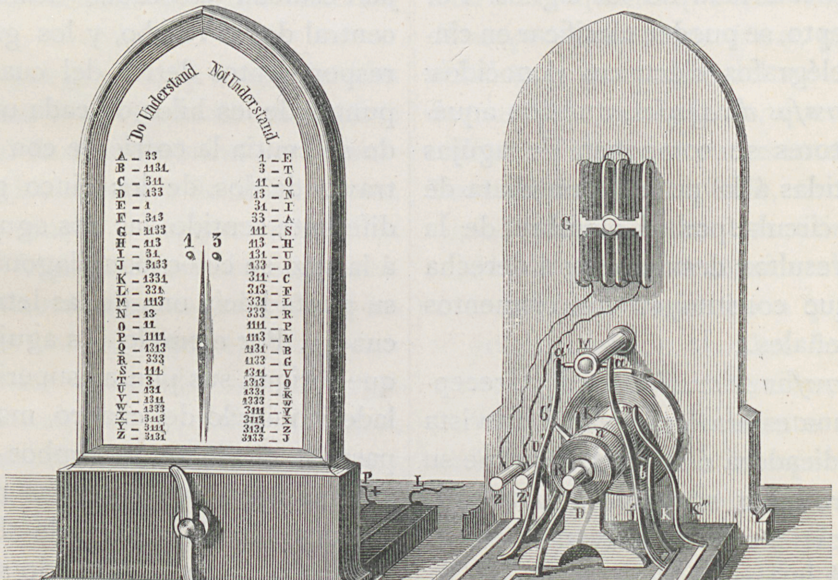


Fig. 277.—Telégrafo de una aguja de Cooke y Wheatstone : manipulador y receptor

ron en las líneas inglesas y que vamos á describir. Como se verá, su mecanismo es muy sencillo.

La figura 277 representa, á la izquierda, la cara anterior del aparato que es idéntico en la estacion de orígen y en la de destino. En el centro se ve la aguja exterior del galvanómetro, cuyas desviaciones á derecha é izquierda están

marcadas por las cifras 1 y 3, y limitadas á uno y otro lado por un botoncito de marfil. En la parte inferior se ve el mango del manipulador, que el empleado inclina á derecha ó á izquierda, segun el sentido de la desviacion que quiera producir. Combinando el órden y el número de las desviaciones de la aguja á ambos lados, bastan 1, 2, 3 ó 4 movimientos para representar las letras del alfabeto, las cifras de la numeracion y los signos convencionales. Estos últimos eran en Inglaterra los siguientes:

A	33	H	113	O	11	V	1311
B	1131	I	31	P	1111	W	1333
C	311	J	3133	Q	1313	X	3113
D	133	K	1331	R	333	Y	3111
E	1	L	331	S	111	Z	3131
F	313	M	1113	T	1		
G	1133	N	13	U	131		

Las cifras están marcadas por el número y el órden de las desviaciones á derecha é izquierda de la punta inferior de la aguja. Mediante un signo convenido se pasa de las letras á las cifras y de estas á aquellas. Digamos de una vez para siempre que estas combinaciones de signos son puramente arbitrarias, y por consiguiente los adoptados en Bélgica para este sistema de telégrafos eran distintos de los susodichos, á pesar de lo cual el mecanismo era idéntico.

Hé aquí cuál es el manipulador del telégrafo de Wheatstone de una sola aguja (*single needle*).

Como se ve á la derecha de la figura 277, que presenta el aparato por su cara posterior, el galvanómetro G está situado en el centro de

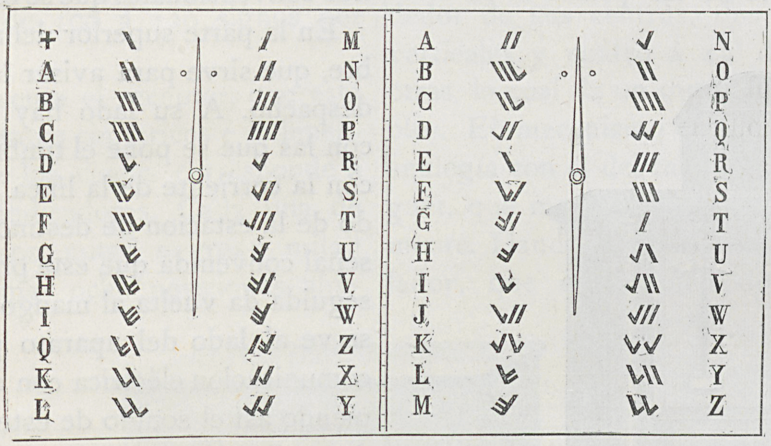


Fig. 278.—Vocabulario belga y vocabulario inglés del telégrafo de una aguja

la borna vertical que está representada por su cara anterior en la misma figura. La aguja indicadora está montada sobre el mismo eje que la imantada del galvanómetro; si bien ambas están imantadas, formando un sistema compensador, como en el galvanómetro de Nobili. Lo que en rigor constituye el manipulador ó conmutador, está situado debajo del galvanómetro, y se compone de un cilindro de boj, sustentado por dos muñones metálicos, en el eje del mango exterior y que, como este, puede girar á derecha ó á izquierda. Dicho cilindro está rodeado exteriormente de dos láminas metálicas aisladas entre sí, *m* y *n*. El muñon D está en contacto constante con el muelle R, y tambien con la placa *n*. De cada una de estas placas parten dos puntas metálicas *b* y *b'* y segun su posicion, tropieza la primera con el muelle K y la segunda con el U. La placa *m* está en contacto permanente con el muelle K''. En M se ve un vástago metálico provisto lateralmente de dos puntas que, segun la posicion del mango, tocan en *a* y *a'*, ya con el muelle U', ya con el U. Por ultimo los hilos del galvanómetro aducen á dos bornas Z y Z' unidas á su vez, la primera con la borna L del hilo de línea, y la segunda con los muelles U' K' y el hilo del polo positivo de la pila; por otra parte, los muelles K y U están enlazados con el hilo de tierra T, y K'' con el polo negativo N de la pila.

Sabido esto, supongamos que el mango del manipulador está vertical. En este caso, las puntas *b*, *b'* lo están tambien, y las partes metálicas del cilindro permanecen aisladas; la corriente de la pila no puede pasar de una á otra, ni por consiguiente entrar en los hilos del galvanómetro.

Supongamos ahora que se vuelve el mango á la derecha, como se ve en la fig. 277. Las dos puntas *b* y *b'* tocan los muelles K y U', separando á este último de su contacto con la pieza M. La corriente seguirá entónces el camino marcado por la serie de letras correspondientes á las diferentes piezas del manipulador, por el órden siguiente: P R D *n b'* Z' G Z L; la corriente que llega así al hilo de línea, despues de hacer desviarse á la derecha la punta superior de la aguja del galvanómetro trasmisor, prosigue su marcha, entra en el aparato receptor y desvia en el mismo sentido la aguja de su galvanómetro, yendo en seguida á tierra. Segun veremos más adelante, la tierra hace las veces de hilo de regreso, de suerte que el polo negativo de la pila del aparato trasmisor cierra el circuito por medio de las piezas T K *b m* K'' N.

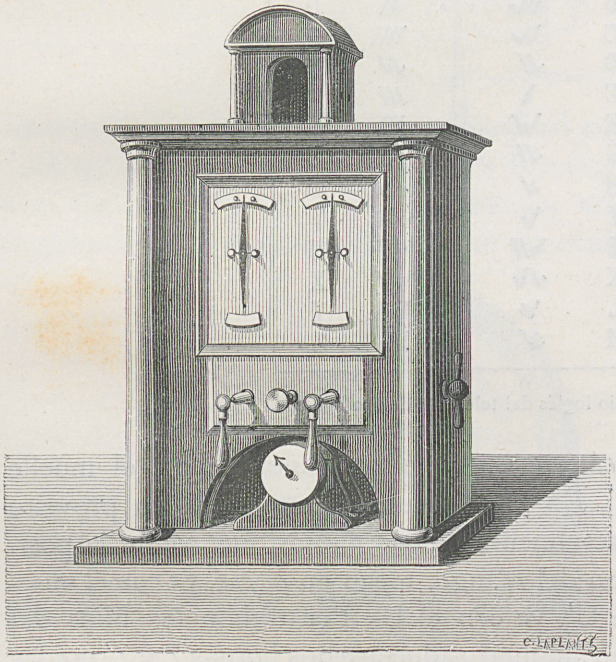


Fig. 279.—Telégrafo de dos agujas

Cuando, por el contrario, se vuelve el mango á la izquierda, la direccion de la corriente es inversa, porque las puntas *b* y *b'* tocan, la primera el muelle K' y la segunda el U separándolo al mismo tiempo de la pieza M. El camino seguido por la corriente está en este caso indicado por la serie de letras:

N K'' *m b* K' Z' G Z L, la línea, y luégo T U *b' n* R P.

La corriente ha circulado en sentido contrario y desviado á la izquierda la aguja del galvanómetro trasmisor al mismo tiempo que la del receptor.

Como se ve, la corriente voltaica atraviesa en este sistema, á la vez y en idéntico sentido, los galvanómetros de las dos estaciones telegráficas extremas, y se interrumpe simultáneamente en uno y otro, reproduciéndose los signos trasmitidos en el mismo instante.

El *telégrafo de dos agujas* de los mismos inventores está basado en el propio principio que el anterior. Cada uno de los aparatos de las estaciones de orígen y destino consta de dos galvanómetros y dos manipuladores, independientes uno de otro. El empleado que los maneja ase con cada mano los mangos que hacen funcionar los manipuladores de derecha é izquierda; luégo los vuelve á uno ú otro lado, separada ó simultáneamente, reproduciendo así los signos que constituyen el alfabeto y las cifras convencionales que se marcan en la fig. 278.

En la parte superior del aparato está el timbre, que sirve para avisar la trasmision de un despacho. A su lado hay dos tiras metálicas con las que se pone el timbre en comunicacion con la corriente de la línea. Avisado el empleado de la estacion de destino, responde con una señal convenida que está pronto á recibir, y en seguida da vuelta al mango ó conmutador que se ve al lado del aparato para interceptar la comunicacion eléctrica con el timbre, interrumpiendo así el sonido de este miéntras recibe el despacho.

La esfera situada debajo de los mangos de los manipuladores está provista de una aguja que, segun su posicion, sustrae tal ó cual estacion de la línea á la accion de la corriente, y divide así la línea en dos trozos independientes. Gracias á este conmutador, se puede circunscribir la comunicacion telegráfica á las estaciones directamente interesadas, y el servicio puede continuar independientemente entre todas las demás.

Lo mismo en los telégrafos de dos agujas que en el de una, las desviaciones están limitadas por dos botoncitos de marfil, que tienen además la ventaja de hacer que el oído perciba el número de golpes de la aguja sobre ellos.

Otros inventores han construido varios sistemas de telégrafos de agujas que han funcionado con éxito.

Entre ellos, los señores Foy y Breguet han ideado un sistema de telégrafo de agujas que

tiene por objeto reproducir los signos del telégrafo aéreo de Chappe y que ha funcionado desde 1845 en la línea de Paris á Rouen (145 kilómetros), dando al parecer excelentes resultados. Lo propio que el telégrafo de dos agujas de Wheatstone, necesitaba dos hilos de línea; pero los inventores han construido aparatos de una sola aguja, que sólo requieren un hilo, y aún así dan de 100 á 120 signos por minuto.

Aguja izquierda		Las dos agujas juntas			Aguja derecha	
+	\	R ou 8	\	\	\	H ou 4
A	\\	S	\\	\\	\\	I
B	\\\	T	\\\	\\\	\\\	K
C ou 1	↘	U ou 9	↘	↘	↘	L ou 5
D ou 2	✓	V ou 0	✓	✓	✓	M ou 6
E ou 3	/	W	/	/	/	N ou 7
F	//	X	//	//	//	O
G	///	Y	///	///	///	P
		Z	/	\		
		Q	\	/		

Fig. 280.—Signos del telégrafo de dos agujas

La fig. 281 representa el receptor, que está formado de dos aparatos simétricos é independientes, cada uno de los cuales corresponde á una de las agujas indicadoras. Cada una de estas agujas, que son mitad negras y mitad blancas, puede tomar ocho posiciones alrededor de sus centros, dos horizontales, dos verticales y cuatro á 45° de cada una de las otras, lo cual da un total de 64 signos disponibles. El mecanismo del receptor tiene mucha analogía con el del telégrafo de cuadrante Breguet, que muy luégo describiremos detalladamente. Dando vuelta al mango M del manipulador, que es tambien doble (fig. 282), y

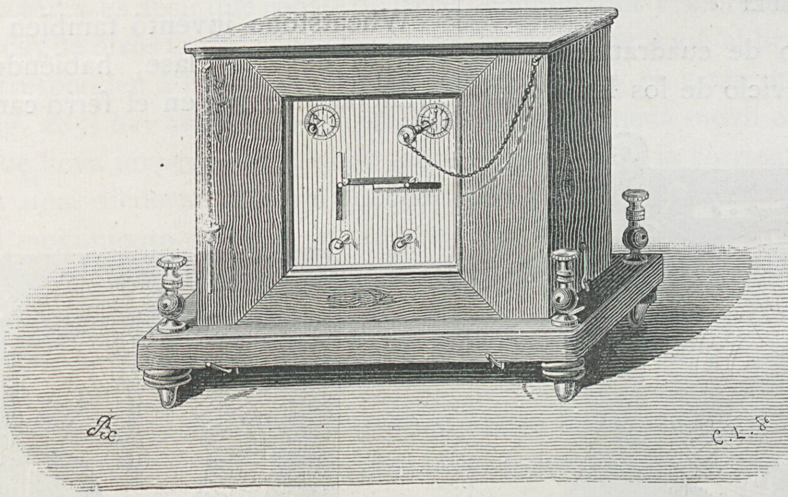


Fig. 281.—Receptor del telégrafo de agujas, sistema Foy y Breguet

haciéndole tomar una de las ocho posiciones que corresponden á las ocho muescas de una rueda fija, se hace girar otra rueda montada en el eje del manubrio y en cuyo plano hay trazada una garganta hueca y sinuosa. El muelle *Bc* toma entónces la posicion que se ve en la figura, y la pieza *l* toca la pieza metálica *v*, ó toma una posicion más inmediata al centro, en cuyo caso *l* toca la pieza izquierda *v'*. Ambas piezas están aisladas por un pedazo de marfil de la parte metálica del manipulador, al cual van á parar los hilos de la pila, de la línea y del receptor. Por consiguiente, tan pronto pasa la corriente como se interrumpe, lo cual produce en el receptor movimientos correspondientes de la aguja indicadora.

En la fig. 283 se contiene el vocabulario alfabético adoptado en Francia para este telégrafo.

La raya horizontal es comun á todos estos signos y no requiere ninguna operacion. Para marcar las ocho letras A, B, C, D, E, F, G, W, sólo hay que mover el manipulador de la izquierda, y el de la derecha para las letras H, J, K, M, N, O. Los otros trece signos exigen el movimiento simultáneo de los dos manipuladores y de los dos aparatos. Las administraciones de las líneas telegráficas francesas han usado mucho tiempo este sistema.

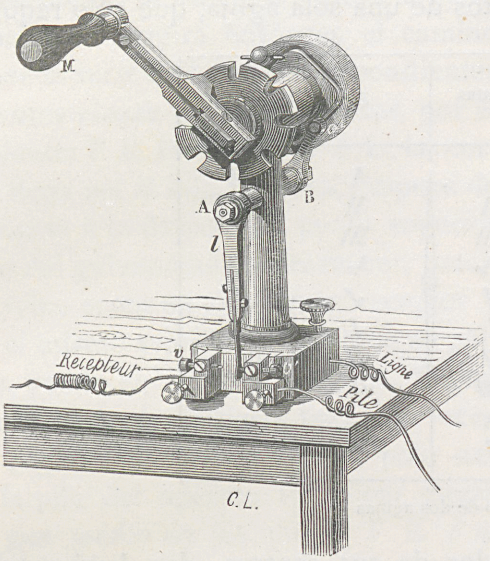


Fig. 282—Manipulador del sistema Foy y Breguet

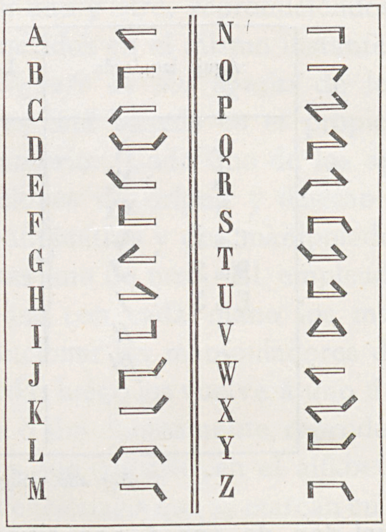


Fig. 283.—Signos del telégrafo Foy y Breguet

IV

LOS TELÉGRAFOS ELÉCTRICOS DE CUADRANTE.—SISTEMA BREGUET

El telégrafo eléctrico de cuadrante se usa especialmente en el servicio de los ferro-carriles, ó en las líneas secundarias de la red telegráfica de algunos países. El motivo principal de la preferencia dada á este sistema por las empresas de las vías férreas consiste en el fácil manejo del aparato, pues basta un corto aprendizaje para que cualquier empleado pueda trasmitir y recibir por él un despacho.

Wheatstone inventó tambien el primer telégrafo de esta clase, habiéndose hecho las primeras pruebas en el ferro-carril de Paris á Versalles en junio de 1844. Despues se han probado ó adoptado muchos sistemas análogos en varias líneas telegráficas de diferentes naciones. Más adelante haremos mencion de algunos de los más notables, indicando sucintamente en qué difieren sus principios ó mecanismos. Por ahora nos limitaremos á describir el sistema más usado en las vías férreas de

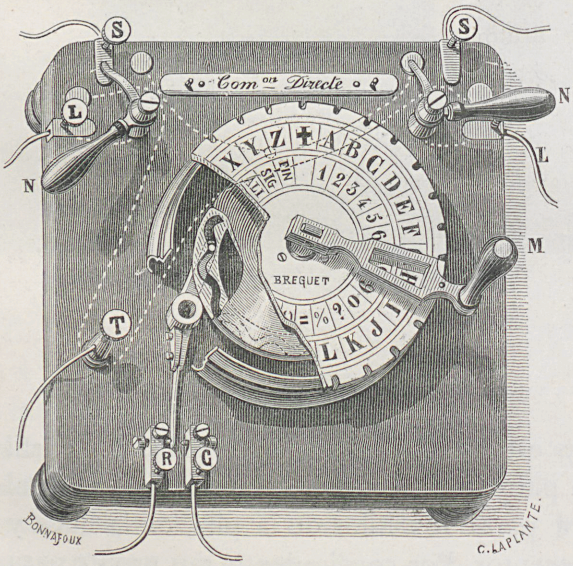


Fig. 284.—Manipulador del sistema Breguet, nuevo modelo

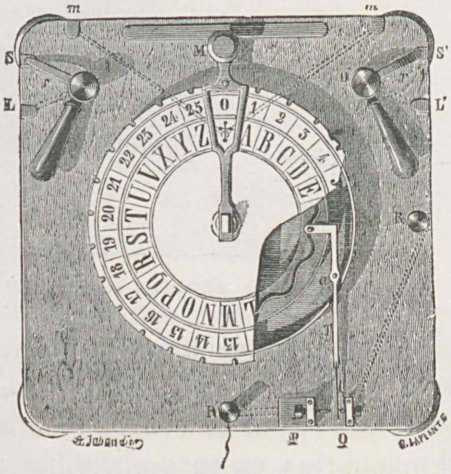


Fig. 285.—Manipulador Breguet, modelo antiguo

todos los telégrafos de cuadrante; este sistema es el de Breguet, derivado del de Wheatstone.

Las figs. 284 y 285 representan el manipulador. Es un cuadrante de laton sostenido por tres columnas metálicas sobre una peana horizontal de madera. Dos zonas concéntricas, cada una de las cuales está dividida en veintiseis sectores, reproducen, una las veinticinco letras del alfabeto francés y una cruz, y otra las cifras sucesivas de 1 á 10 y además una serie de signos ó señales especiales. En el antiguo modelo (fig. 285) habia en lugar de estos signos los números de 10 á 25. En un eje que atraviesa el centro del cuadrante se articula el manubrio M que puede girar en el mismo sentido que las agujas de un reloj y detenerse sobre cualquiera de las letras ó de las cifras marcadas, con cuyo objeto el manubrio tiene un diente que engrana en las muescas que hay en la circunferencia del cuadrante en medio de cada uno de los veinticinco sectores.

El movimiento del manubrio ocasiona el de su eje y el de una rueda en la cual hay abierto un surco sinuoso que se ve en la parte del cuadrante que se supone levantada en la figura 284. El número de sinuosidades de este surco es igual al de sectores, es decir que consta de trece arcos convexos y de otros tantos cóncavos, todos los cuales corresponden á las letras ó á las cifras. En *a* (fig. 285) hay articulada una palanca acodada T que lleva un pequeño vástago sobre el cual corre una ruedecita maciza de acero templado. El movimiento de la rueda que contiene el surco se comunica así á esta ruedecita que entra en dicho surco, de suerte que el extremo de la palanca, unas veces se acerca al centro y otras se aleja de él, ejecutando así tantas oscilaciones como divisiones sucesivas del cuadrante recorre el manubrio.

Veamos ahora cómo se puede producir una serie de emisiones é interrupciones de la corriente de la línea merced al movimiento impreso al manubrio del manipulador. Pero ántes convendrá describir las diferentes piezas de éste, y las comunicaciones que con ellos se establecen entre las pilas, los hilos de línea y los mismos aparatos.

El hilo que parte del polo positivo de la pila llega al tornillo R que está unido con una tira metálica al tornillo P. Enfrente de la punta de este tornillo hay otro Q, que comunica del mismo modo con el tornillo R', al cual va á parar el hilo del receptor. Entre las puntas de estos tornillos oscila el brazo de palanca T que tan pronto se pone en contacto con uno como con otro. Supongamos el manipulador en reposo ó su manubrio sobre la cruz, posicion marcada en la figura 285. En este caso la corriente no pasa porque el circuito no está cerrado, sucediendo lo mismo siempre que la palanca ocupa la misma posicion, es decir, cuando el manubrio pasa por una division par, por las letras B, D, F... ó las cifras 2, 4, 6... Si, por el contrario, el manubrio en movimiento pasa por encima de una division impar ó se detiene sobre ella, la corriente entra por la palanca T en la rueda móvil del manipulador. Réstanos demostrar cómo se la hace pasar á uno ú otro de los hilos de línea, á derecha ó á izquierda de la estacion. Estos hilos están empalmados en L y L'. Las dos lengüetas metálicas L y L' comunican constantemente con dos conmutadores *r* y *r'* que se pueden girar con un mango, y cuyos brazos se sitúan cuando se quiera sobre las lengüetas *Sm*, *S' m'*, ó sobre los extremos de la tira metálica C D.

Si se quiere comunicar con la estacion telegráfica de la izquierda, se pone el brazo del conmutador *r* sobre *m*; para comunicar con la derecha, se pone el brazo *r'* sobre *m'*. Las dos piezas *m* y *m'* están unidas con una tira metálica á la rueda móvil del manipulador; por consiguiente, si la corriente de la pila llega á ésta, pasa por *m*, el brazo *r*, el tornillo L y el hilo de la izquierda, por hipótesis. La corriente va á parar á la línea, llega al receptor de la estacion, de allí al hilo de tierra de ésta, y vuelve, por la tierra misma, al polo negativo de la pila de la estacion expedidora. Lo propio resulta en la línea de la derecha, si se ha puesto el brazo del conmutador del mismo lado sobre la lengüeta *m'*.

En resúmen, si se imprime un movimiento de rotacion al manubrio del manipulador, de modo que se le haga dar una vuelta entera, habrá *trece* pasos de la corriente por el hilo de línea, y alternativamente *trece* interrupciones de la misma corriente. Supongamos que se quiera trasmitir la palabra PARIS, es decir, las cinco letras P, A, R, I, S. El empleado hará girar el manubrio desde la cruz hasta la letra P, lo detendrá un momento en la muesca correspondiente, y luégo acabará de dar la vuelta hasta

el signo +. Detiene de nuevo el manubrio en A, vuelve otra vez á la cruz, y en seguida pasa del mismo modo á las letras R, I, S.

El número de emisiones é interrupciones de la corriente es de veintiseis á cada vuelta, pero hay un tiempo de parada correspondiente al momento en que el manubrio se detiene sobre la letra que se desea trasmitir, emisiones, interrupciones y parada que se reproducen por el mismo órden en la estacion de destino. Veamos ahora cómo se consigue esto, haciendo recorrer el cuadrante del aparato receptor de dicha estacion por una aguja que reproduce exactamente los movimientos del manubrio.

Describamos este receptor.

La figura 286 representa su aspecto exterior.

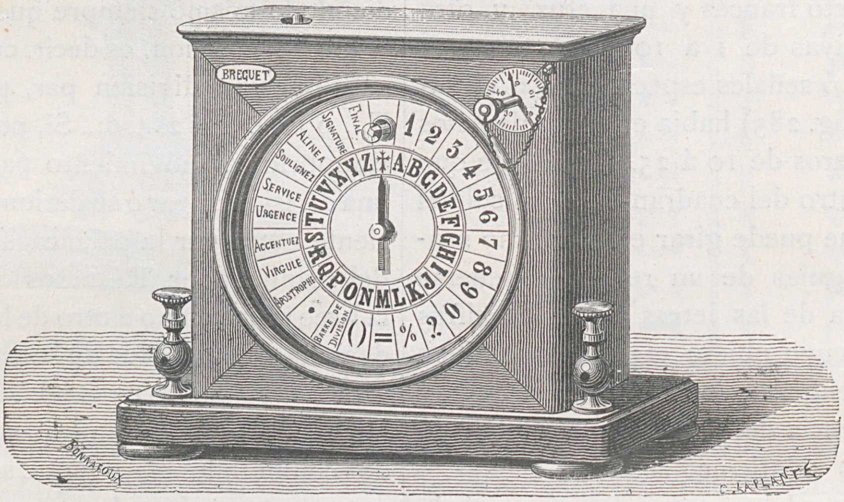


Fig. 286—Vista exterior del aparato de cuadrante Breguet

Es una caja provista de un cuadrante con las mismas divisiones que el del manipulador. Tiene en su interior un mecanismo de relojería con un eje comun á su rueda de escape y á la aguja del cuadrante, de suerte que siempre que escapa un diente de esta rueda, la aguja pasa de una division á otra. La corriente emitida á la línea por el manipulador de la estacion expedidora

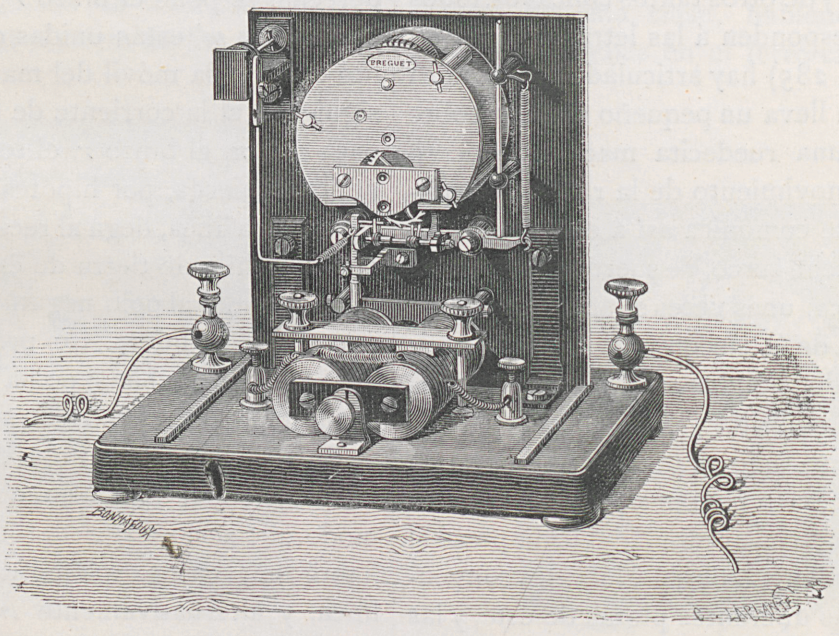


Fig. 287—Mecanismo del receptor Breguet

llega á uno de los tornillos que se ven en la base del receptor, recorre el hilo de los carretes de un electro-iman situado en la parte interna é inferior del receptor, actúa sobre un mecanismo particular que describiremos en seguida, y pasa á tierra por el otro tornillo. Sólo nos falta pues explicar cómo actúan la corriente y el electroiman sobre la rueda de escape para acabar de

hacer comprender cómo reproduce la aguja en el cuadrante los signos trasmitidos, lo cual será fácil considerando las figuras 287 y 288, que representan el mecanismo especial del aparato receptor.

En la base de este y descansando sobre una peana se ve el electro-iman por cuyas espiras pasa la corriente enviada á la línea por la estacion expedidora. En frente de sus polos hay una armadura de hierro dulce M sostenida por

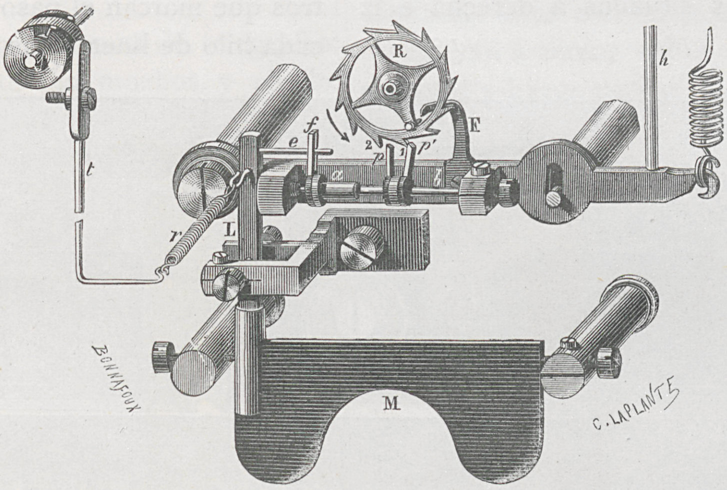


Fig. 288.—Detalles del mecanismo del receptor Breguet

dos tornillos entre los cuales puede girar alrededor de su arista horizontal superior. Cuando la corriente pasa, los polos del electro-iman atraen dicha pieza que se aplica contra ellos. Si aquella se interrumpe, la armadura se separa de los mismos polos en virtud de un movimiento opuesto hácia la cara anterior del receptor en la que está fijo el cuadrante. Este movimiento de vaiven de la armadura M es el que, por un mecanismo particular, se comunica á la aguja indicadora. Con este objeto tiene dicha armadura una varilla vertical L, que oscila como ella, pero en sentido inverso (fig. 288): limitada en su movimiento por dos tornillos, esta varilla lleva en su extremo una espiga *e* que penetra en una horquilla *f*, de suerte que esta oscila unas veces hácia delante y otras hácia atrás, comunicando su propias oscilaciones á un árbol *ba*, y por consiguiente á las paletas *p p'*, cuya mision consiste en dejar escapar ó detener los dientes de la rueda de escape R.

Supongamos al receptor en reposo, á la rueda indicadora sobre la cruz, y á la paleta *p'* aplicada contra el diente 1 de la rueda; el mecanismo está inmóvil. Pero tan luégo como se emite la corriente, es decir, cuando la aguja del manipulador avanza de la cruz á la letra A, la corriente sigue el trayecto de la línea, entra en el receptor y en el electro-iman que atrae á la armadura M; el movimiento de esta ocasiona la rotacion en sentido contrario del árbol *ab* y de la paleta *p* que deja escapar el diente 1, y la paleta *p* tropieza con el diente 2 tan luégo como el mecanismo puesto en marcha por el escape ha hecho girar la rueda. La aguja indicadora ha avanzado una division y se sitúa sobre A.

Al cesar la corriente, la armadura vuelve á su primera posicion obligada á ello por la tension de la hélice *r*; la paleta *p* deja escapar el diente 2, el mecanismo marcha de nuevo y la paleta *p'* detiene á su vez el diente 2; la aguja ha avanzado otra division.

Merced á una disposicion muy sencilla se puede hacer que vuelva la aguja á la cruz sin emitir corriente (lo cual es necesario á veces). Con una varilla *h* que se ve á la derecha se baja el árbol que sostiene las paletas y como estas no tropiezan ya con los dientes de la rueda de escape, el mecanismo se pone en marcha hasta que una espiga F encuentra un boton de parada que corresponde á la posicion que debe ocupar la aguja sobre la cruz.

El pequeño cuadrante que se ve al lado superior derecho del receptor (fig. 288) sirve para regular la hélice *r*. Si esta no tuviera la tension conveniente, la amplitud de las oscilaciones de la armadura podria ser excesiva ó escasa; en el primer caso, las paletas están expuestas á salirse del plano de la rueda de escape, y el mecanismo marcha sin detenerse; en el segundo, no pue-

den desprenderse de los dientes, y no hay escape; el receptor no funciona.

Réstanos explicar cómo se montan los aparatos de una estacion, á cuyo fin tomaremos por ejemplo una intermedia, que pueda comunicar con otras dos situadas á derecha é izquierda.

Sea la estacion de Sèvres, en la línea telegráfica de Versalles á Paris. La figura 289 representa los aparatos manipulador y receptor. El manipulador está sujeto sobre una mesa, y á uno y otro lado de él se ven los galvanómetros que marcan el paso de las corrientes por cada hilo de línea. Más arriba y en una misma

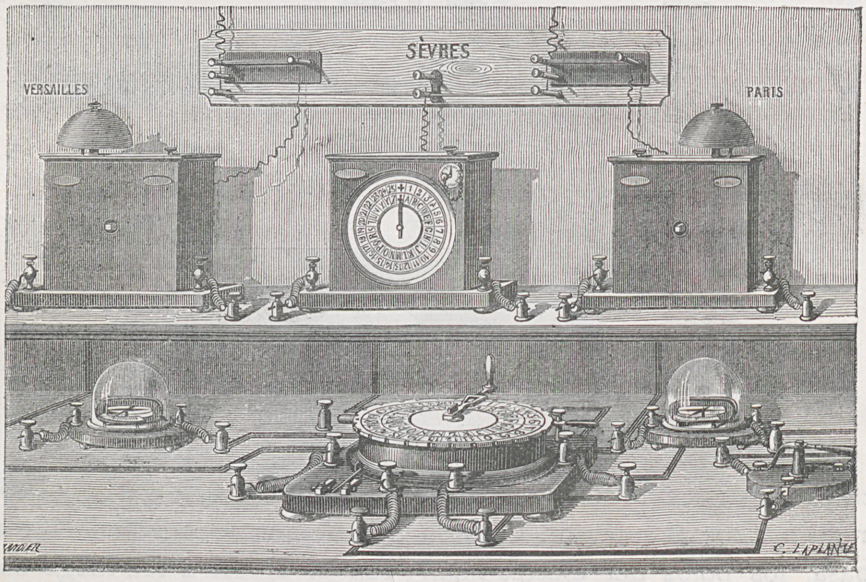


Fig. 289.—Estacion de un telégrafo de cuadrante

tabla horizontal, están el receptor, y á sus lados los timbres que avisan respectivamente la trasmision de un despacho, ya de Paris ó bien de Versalles. Ya veremos cómo funcionan estos timbres.

Examinemos los distintos casos que pueden ocurrir, y veamos cómo manipulará el telegrafista en estas circunstancias.

Estando los aparatos en reposo, los brazos de los conmutadores descansan sobre S y S′ (figura 285), á donde van á parar los hilos de los dos timbres. Si la estacion de Paris necesita trasmitir un despacho á Sèvres, el empleado da una vuelta entera al mango de su manipulador. La corriente emitida á la línea penetra en la estacion de Sèvres por el hilo de la izquierda, desviando la aguja del galvanómetro, y hace funcionar el mecanismo del timbre de la izquierda. Avisado el empleado de Sèvres por el ruido, pone el conmutador de la derecha sobre el tornillo *m′;* y luégo, dando una vuelta entera al manubrio de su manipulador, hace que resulte un movimiento análogo en la aguja indicadora del receptor de Paris, lo cual da á entender que está dispuesto á recibir el despacho. Una vez recibido este, la estacion de Sèvres trasmite á su vez las dos letras C O *(comprendido).*

Para trasmitir cifras, se repite ántes dos veces la letra C.

Lo que acabamos de decir basta para que se comprenda lo que haria la estacion de Sèvres si tuviera que expedir un despacho á Paris. La explicacion seria enteramente idéntica, ménos en lo que respecta al órden de la manipulacion, que se efectuaria á la izquierda, si hubiera de comunicar Sèvres con Versalles.

Supongamos ahora que esta última estacion y la de Paris quieren comunicar directamente. La estacion expedidora trasmite á Sèvres el nombre de la estacion á la que desea trasmitir el despacho, añadiendo el número de minutos que necesitará para esta trasmision. El empleado de Sèvres responde C O *(comprendido)* y luégo pone sus dos conmutadores sobre la placa de comunicacion directa C D. Miéntras pasa el despacho, lo cual se conoce por el movimiento de las agujas de los galvanómetros, la estacion de Sèvres no puede funcionar; una vez trasmitido aquel, el empleado vuelve á poner

los conmutadores sobre los contactos de los timbres.

V

TELÉGRAFOS DE CUADRANTE: SISTEMAS SIEMENS Y HALSKE; SISTEMA FROMENT

Hemos dicho que los sistemas de telégrafos eléctricos de cuadrante son muchos, y citado en primer lugar, por órden de fecha, el de Wheatstone, usado en Francia y en España. Ahora nos limitaremos á hacer mencion de los sistemas siguientes:

El de Drescher, cuyo trasmisor es un disco dividido en sectores alternativamente conductores y aisladores, puesto en movimiento por un aparato de relojería. Se detiene el movimiento bajando una de las veintiseis teclas de un cuadrante, la que corresponde á la letra que se ha de trasmitir: entónces la aguja del receptor se detiene en la misma letra.

El sistema Pablo Garnier es un sistema cuyos cuadrantes, manipulador ó receptor, son movibles; los signos, sean letras ó cifras, aparecen simultáneamente en dos aberturas ó ventanillas practicadas en la circunferencia.

El sistema de Mouilleron tiene un mecanismo particular que sirve para regular la tension de la hélice antagonista del sistema Breguet.

M. Glœsener ha construido muchos sistemas de telégrafos de cuadrante cuyos principios seria prolijo enumerar.

El sistema de M. Lippens tiene de particular que funciona con corrientes de induccion magneto-eléctricas, aplicacion que Gauss y Weber en 1835, Steinheil en Munich, Wheatstone en 1840, y Glœsener en 1848 hicieron anteriormente en los aparatos telegráficos.

Mencionemos tambien el sistema Kramer y el de pantalla de Regnard, y entremos luégo en algunos detalles sobre dos telégrafos de cuadrante, el de Froment y el de Siemens y Halske.

Este último, construido para las líneas telegráficas bávaras, se ha usado exclusivamente en las líneas de la gran Sociedad de ferro-carriles rusos, en Lóndres, en Dantzig, en Kœnigsberg, por las compañías de bomberos, y finalmente en varias líneas inglesas. El motor del aparato consiste en una batería de imanes permanentes, en torno de cuyos polos gira un cilindro de hierro dulce revestido en el sentido de sus generatrices de un hilo aislado que forma la hélice magnetizante. La rotacion de este cilindro sobre su eje desarrolla corrientes inducidas alternativamente de sentidos contrarios. Emitidas estas corrientes á la línea unas tras otras, van á actuar sobre el electro-iman del receptor y hacen oscilar su armadura, que actúa

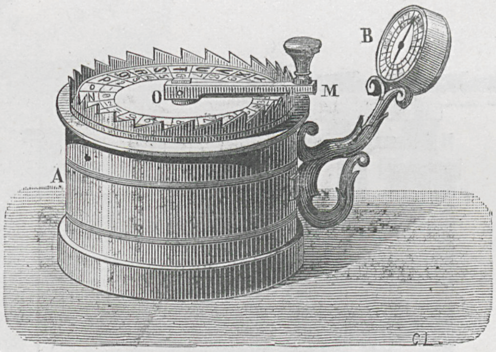


Fig 290—Telégrafo de cuadrante, sistema Siemens y Halske

á su vez sobre la rueda de escape que lleva la aguja indicadora. La figura 290 representa la vista exterior del aparato completo que, como se ve, es sumamente sencillo. A es un tambor ó caja cilíndrica que contiene el trasmisor ó manipulador, y B es el receptor. M O es el manubrio al que se da vuelta deteniéndolo sucesivamente sobre las letras de un cuadrante, segun el texto del despacho. La aguja del cuadrante del receptor B sigue todos los movimientos del manubrio del manipulador.

Hé aquí ahora la sucinta descripcion del mecanismo de cada una de las partes del aparato.

A (fig. 291) es el disco de metal que lleva el cuadrante; veintiseis muescas ó dientes exteriores corresponden á las veintiseis divisiones que sirven de punto de detencion al manubrio. En el eje O O′ hay una rueda dentada R R, que engrana con el piñon H. Cuando esta rueda avanza un 26° de su circunferencia, es decir, cuando el manubrio pasa de una letra á otra, el piñon da media vuelta sobre sí mismo lo propio que el cilindro C C. En la columna de hierro B B están fijados por sus polos del mismo nombre varios imanes permanentes *a*, *a*, *a*... alineados en dos series, una de las cuales presenta el polo norte á un lado del cilindro C, y la otra serie el polo sur al otro lado. En este cilindro de hierro dulce C va enrollada la hélice magnetizante, y al girar sobre sí mismo y al

presentar alternativamente á los polos de los imanes *a* una ú otra de sus caras, separadas por la hélice, se desarrollan las corrientes inducidas emitidas sucesivamente á la línea. A cada revolucion del cilindro C nacen dos corrientes de sentido contrario. Réstanos demostrar cómo producen estas corrientes en el receptor los movimientos correspondientes de la aguja indi-

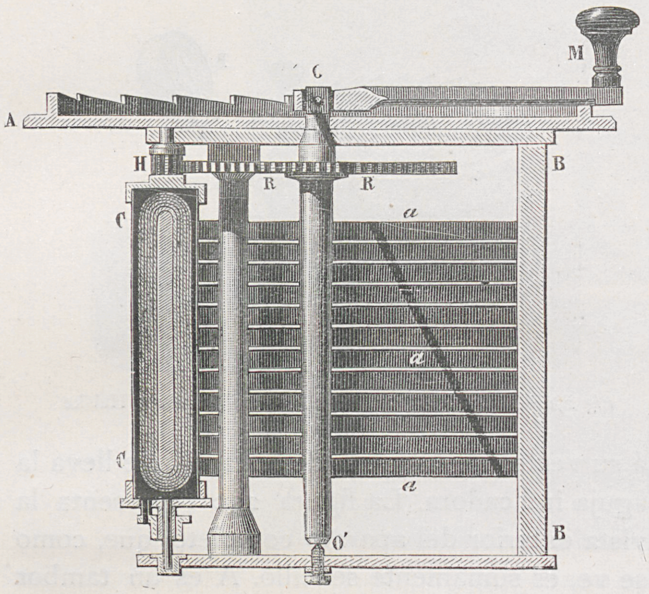


Fig 291.—Manipulador del telégrafo de cuadrante Siemens y Halske

cadora, lo cual se comprenderá fácilmente considerando la figura 292.

Representa el mecanismo de recepcion situado debajo del cuadrante del receptor. M y M′ son las dos hélices del electro-iman, puesto en accion por las corrientes de sentido contrario enviadas á la línea: P y P' son los dos polos de este electro iman : entre estos polos pasa el brazo de una horquilla de hierro dulce *abb′*, la cual está constantemente polarizada por su contacto con los polos del iman permanente A A′. De aquí resulta que segun la direccion de la corriente emitida, el brazo *a* es unas veces atraido por el polo P y repelido por P′, y otras atraido por P′ y repelido por P. Estas oscilaciones, que son en número de veintiseis cuando el manubrio del manipulador da una vuelta entera, ocasionan á cada movimiento el escape de uno de los veintiseis dientes de la rueda R, y por consiguiente hacen que la aguja del cuadrante, montada en el mismo eje que la rueda, avance una division.

El receptor del sistema Froment no difiere del de Breguet, pero el manipulador se distingue por una modificacion particular en la trasmision y recepcion de las corrientes. En este aparato (fig. 293) es tambien una rueda de surco sinuoso B la que con su rotacion ocasiona las oscilaciones de una palanca A, uno de cuyos brazos penetra en las sinuosidades del surco. Sin necesidad de más detalles se comprenderá cómo puede emitir é interrumpir las corrientes sucesivas el otro brazo de la palanca oscilante. Lo que necesita explicacion es el modo cómo ha realizado M. Froment esta trasmision del movimiento, en términos de que el número de emisiones de la corriente sea para cada signo el que conviene al órden de su situacion en el cuadrante.

Un aparato de relojería pone en movimiento la rueda B; mas para que se efectúe este movimiento es menester que el diente que dicha rueda lleva en su circunferencia se desprenda de una espiga *e* que la sujeta, desprendimiento que se consigue mediante el juego de un teclado cada una de cuyas teclas corresponde á una letra ó á una cifra. Bajando una de dichas teclas, se hace funcionar una barra que levanta la espiga, y entónces el mecanismo de relojería imprime su rotacion á la rueda con una velocidad de dos ó tres vueltas por segundo. Debajo del teclado hay un árbol metálico, un cilindro D E que gira con la rueda B y en el mismo eje que ella; este árbol está guarnecido de tantas puntas ó clavijas como teclas, formando dos series alineadas en espiral; cada clavija corresponde á una tecla dependiendo su posicion an-

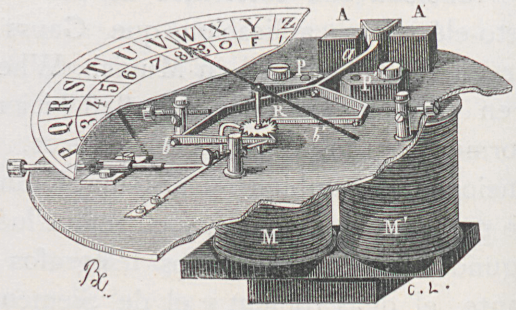


Fig 292.—Receptor del telégrafo Siemens y Halske

gular en el cilindro del órden de la letra correspondiente en el cuadrante. Debajo de cada tecla hay un diente que, al bajarse esta, tropieza con la clavija correspondiente, tan luégo como queda descrito el ángulo de rotacion correspondiente á la rueda. En este instante se detiene el movimiento, y el número de emisiones é interrupciones de corriente efectuadas

está, como se ve, en relacion con el órden de la letra ó de la tecla. Por consiguiente, la aguja del receptor ha recorrido el mismo número de divisiones, y se ha detenido en la letra trasmitida. Al separar el dedo de la tecla, la espiga *e* baja, sujetando de nuevo el diente de la rueda B, hasta que otra tecla baja lo desprende, causando otra rotacion y una nueva detencion.

Encima del teclado hay un cuadrante cuya aguja marcha de acuerdo con el trasmisor, y sirve de comprobacion al empleado que trasmite un despacho.

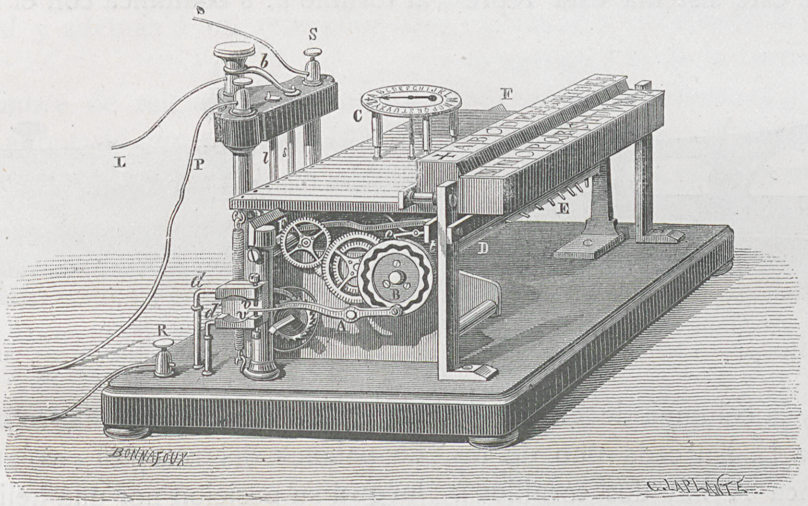


Fig. 293.—Telégrafo de cuadrante sistema Froment; manipulador

M. Froment ha construido aparatos de este sistema que funciona sin mecanismo de relojería; los que tienen este mecanismo se destinan para comunicar por líneas de gran longitud. Pero, segun testimonio unánime de las personas competentes, unos y otros funcionan con asombrosa perfeccion. «Cualesquiera que sean los movimientos que se ejecuten en el teclado, dice Du Moncel, bájese las teclas como se quiera, no bien se pone un dedo sobre alguna de ellas, la letra correspondiente aparece en el cuadrante.»

CAPÍTULO IV

LA TELEGRAFIA ELECTRICA

I

LOS TELÉGRAFOS ESCRITORES.—TELÉGRAFOS MORSE, MORSE-DIGNEY

Los telégrafos de agujas y los de cuadrante que acabamos de describir forman muchos sistemas, cada uno de los cuales tiene sus inconvenientes y sus ventajas. Los primeros, que son de sencilla construccion, sólo necesitan corrientes de poca fuerza; en cambio son muy sensibles á las causas de perturbacion. Los segundos, cuyo mecanismo es mucho más complicado, tienen la ventaja de que su manejo es fácil y se aprende muy pronto. Pero unos y otros presentan un grave inconveniente: que no queda en ellos rastro alguno de los despachos, y por lo tanto no se puede comprobar su exactitud en caso de error, perturbacion ó fraude.

Los aparatos que ahora vamos á describir no tienen este inconveniente, pues ofrecen sobre los de agujas y cuadrantes la considerable ventaja de imprimir el despacho en una cinta de papel que conserva así la huella del texto expedido y recibido.

El telégrafo Morse, cuya invencion data de 1838, es el tipo de los telégrafos escritores. La universalidad de su adopcion en la inmensa mayoría de las líneas telegráficas está justifica-

da por la sencillez de su mecanismo y por la seguridad de sus indicaciones. Describamos ante todo el aparato Morse mismo, y en seguida hablaremos de las modificaciones introducidas en él, que han perfeccionado notablemente los signos.

El manipulador de este sistema está representado en las figs. 294 y 295. Se compone de una peana de madera en la cual hay dos tornillos *b* y *d* y en medio una corta columna ahorquillada entre cuyos brazos puede oscilar una palanca A en el plano vertical. El hilo P, que llega del polo positivo de la pila, se empalma al tornillo *d*: *b* comunica con el hilo R que va

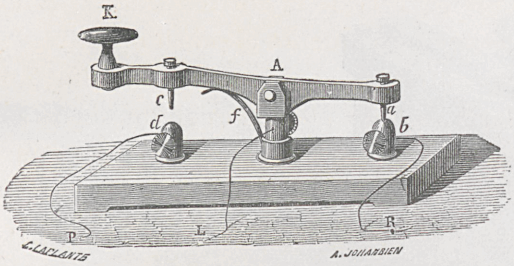


Fig. 294.—Manipulador Morse

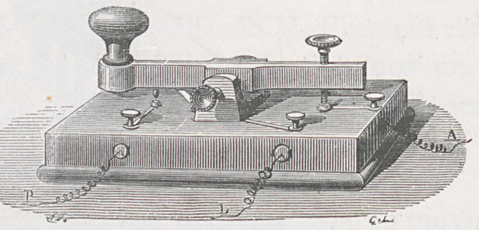


Fig. 295.—Manipulador Morse, otro modelo

á parar al receptor, y la columna de en medio recibe el hilo de línea L. En cada uno de los extremos de la palanca A hay dos tornillos *a* y *c*, pudiendo apoyarse uno y otro en el tornillo correspondiente *b* ó *d* situado debajo de ellos.

En la posicion de reposo, el muelle *f* basta para mantener el tornillo *c* separado de *d*, y entónces el tornillo *a* está en contacto con *b*. Esta es la posicion de recepcion del despacho, pues tan luégo como la corriente procedente de la línea entra en la estacion, pasa por L á la palanca del manipulador, y por *a* y *b* al receptor. Si, por el contrario, se ha de trasmitir un despacho, es decir, de emitir una serie de corrientes discontinuas, bastará que el empleado apoye la mano sobre el boton K de la palanca, venciendo la resistencia del muelle, con lo cual separará *a* de *b* y pondrá á *c* en contacto con *d*. Al efectuarse este contacto, la corriente pasa de P al manipulador, y de aquí al hilo de línea L, quedando interrumpida la corriente emitida apénas cesa el contacto. Como se ve, no puede darse nada más sencillo que el manipulador Morse.

Tampoco es complicado el receptor (figura 296). Consiste en un electro-iman, cuyo carrete forma por un lado la prolongacion del hilo de línea y por el otro va á tierra. La serie de corrientes emitidas por la estacion expedidora imanta y desimanta el hierro dulce del electro-iman por el mismo órden y con iguales alternativas y duraciones que las señales del manipulador. La armadura de hierro dulce, en forma de palanca del receptor, es atraida y vuelta luégo á su posicion por una hélice antagonista, ó repelida cuando la corriente cesa. Esta palanca oscila alrededor de un eje horizontal, limitando dos tornillos sus oscilaciones. Su extremo opuesto á los polos del electro-iman lleva un punzon que da en una cinta de papel, y deja en él una huella de relieve, cuya longitud es proporcional á la duracion del paso de la corriente. Los intervalos de estos trazos son tanto mayores cuanto más dura la interrupcion de la corriente. Un mecanismo de relojería va

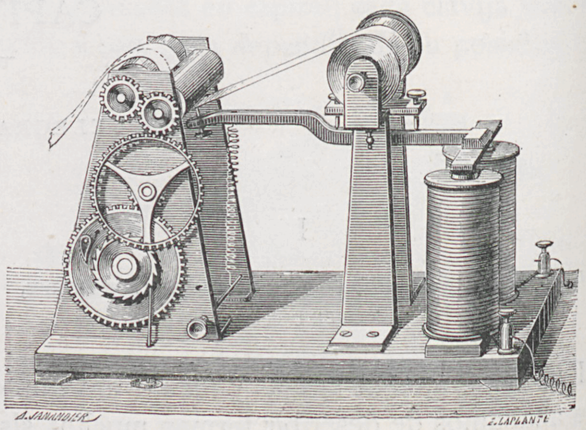


Fig. 296.—Receptor del telégrafo Morse

desenrollando continuamente el papel enrollado en un cilindro, y pasa por entre otros dos cilindros á medida que el punzon deja marcada en él la serie de trazos que constituyen el despacho.

En un principio, la palanca del receptor tenia un lápiz cuya punta trazaba rayas en el papel;

pero este lápiz se despuntaba fácilmente, por cuya razon el inventor sustituyó este medio de impresion con el relieve producido por un punzon. A decir verdad, este último medio requeria demasiada fuerza para que pudiera proporcionarla la pila de línea, por lo cual hubo necesidad de recurrir en la estacion recibidora á una pila local y además á un relevador de corrientes.

Dase el nombre de relevador ó *relais* (en España se ha adoptado generalmente el vocablo francés, pronunciando *relé)* á un aparato suplementario destinado á aumentar la fuerza de la corriente de la línea, la cual, si basta para la trasmision de los signos, es insuficiente para dejarlos impresos en la cinta. Fácilmente se comprenderá la mision del relais siguiendo en la figura 297 la marcha de la corriente que llega á la estacion recibidora por el hilo de la línea.

Esta corriente, que penetra por *c* en el manipulador, pasa al relais R' por *a* y va á parar á un electro-iman polarizándolo. En seguida atrae la armadura ó palanca móvil de este electro-iman, la cual se pone en contacto con el tornillo de la izquierda, dando así paso á la corriente que llega al carrete del receptor y formando el circuito de la pila local, cuya accion se agrega á la de la corriente de la línea para poner en movimiento el punzon del receptor R. Si se interrumpe la corriente de línea, cesa la polarizacion del electro-iman del relais, la armadura vuelve á ponerse en contacto con el tornillo de la derecha, y queda abierto el circuito de la pila local, dejando por tanto el receptor de recibir la corriente de línea.

Hay relais de varios sistemas; el que se ve en la figura 297 y que está representado aparte en la 298, es invencion de M. Froment.

M. Digney ha modificado y perfeccionado el

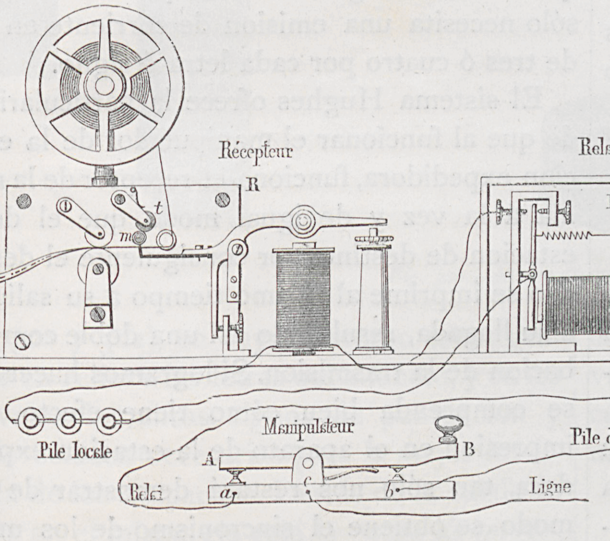


Fig. 297.—Aparato telegráfico Morse, con relais

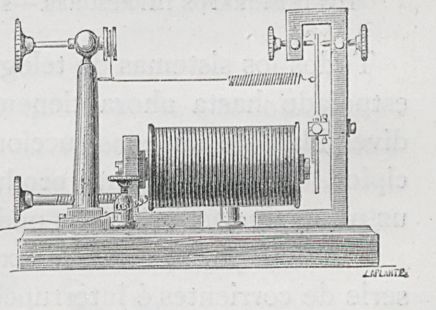


Fig. 298.—Relais Froment

receptor del telégrafo Morse, reemplazando los signos de relieve trazados por el punzon con otros impresos con tinta que requieren ménos fuerza en la corriente; así es que el sistema Morse-Digney puede funcionar sin relais. La fig. 299 lo representa en su aspecto general, así como en sus detalles esenciales. Consideremos estos detalles en dicha figura. K es el rollo de papel-cinta dispuesto para recibir la impresion de los signos y al que imprime un movimiento de rotacion el mecanismo de relojería del receptor. El propio mecanismo hace dar vueltas al cilindro H contra el rodillo de fieltro L impregnado de tinta grasa. B B' es la palanca puesta en accion por el paso de la corriente y cuya punta *l* oprime el papel contra el rodillo-tintero. Así pues, el punto ó la raya que en el sistema Morse ordinario salia marcado en relieve, resultan en este aparato trazados con tinta, dejando una huella más visible y exigiendo, segun hemos dicho, ménos fuerza.

El aparato Digney puede prescindir del relais si la línea es de corta longitud, pero se le agrega si la línea es larga, ó tambien para poner en movimiento los martillos de los timbres, que son aparatos comunes á todos los sistemas telegráficos.

Hemos dicho ya que el sistema Morse se ha adoptado en casi todas las líneas telegráficas; lo cual consiste, como dice muy bien M. Bon-

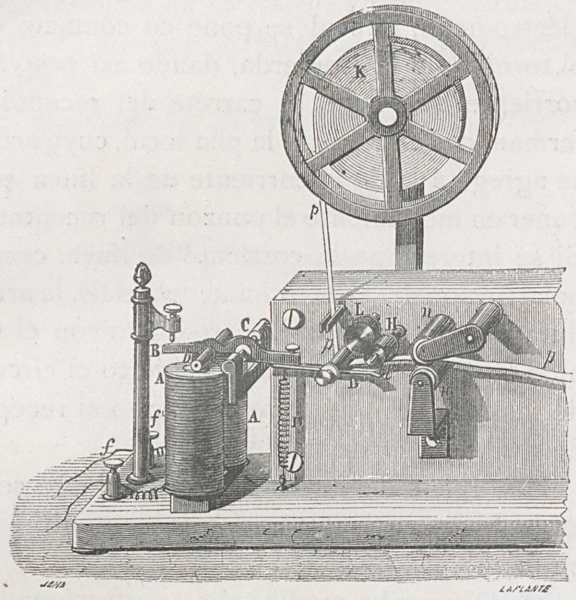


Fig. 299.—Receptor del sistema Morse-Digney

temps, en que «es el primero, el rey de todos los aparatos impresores; por su sencillez no tiene rival.»

II

LOS TELÉGRAFOS IMPRESORES.—SISTEMA HUGHES

Todos los sistemas de telegrafía que hemos estudiado hasta ahora tienen, á pesar de la diversidad de su construccion y de los principios empleados para producir los signos, un principio comun que se podria enunciar así:

Emision por la estacion expedidora de una serie de corrientes é interrupciones de las mismas que producen en los aparatos de la estacion de destino otra serie de movimientos que constituyen los signos convenidos. Los movimientos del manipulador y los del receptor pueden ó no ser idénticos; pero lo esencial es que haya entre ellos una relacion, si no de simultaneidad absoluta, á lo ménos de sincronismo, de suerte que haya identidad perfecta entre el signo trasmitido y el reproducido; en el telégrafo impresor de Hughes, que vamos á describir ahora, es de todo punto indispensable esta última condicion, es decir, el sincronismo de los movimientos del manipulador y del receptor.

La idea de obtener el despacho impreso no es nueva. Desde el orígen de la invencion de la telegrafía eléctrica (1841), Wheatstone sacó un privilegio por un sistema merced al cual salia impreso en caractéres ordinarios y en una cinta de papel, el texto del despacho. Posteriormente, muchos inventores han perseguido la misma idea, realizándola con más ó ménos éxito, entre ellos Vail, Bain, Brett, Du Moncel, Freithel, Teyler, Dujardin, Thompson, Digney, etc. Pero el más perfecto de todos estos sistemas y sobre todo el que ha resuelto el problema de la mayor rapidez de trasmision es el telégrafo impresor del profesor americano Hughes. Es un aparato más complicado y costoso que el Morse, de entretenimiento y manipulacion más difíciles y que requiere empleados más prácticos, pero en cambio ofrece sobre este sistema la ventaja, importantísima en las líneas de mucho servicio, de que la trasmision es por término medio tres veces más rápida que la del telégrafo Morse, pues el Hughes sólo necesita una emision de corriente en vez de tres ó cuatro por cada letra ó signo.

El sistema Hughes ofrece la particularidad de que al funcionar el manipulador de la estacion expedidora, funciona el receptor de la misma á la vez y de igual modo que el de la estacion de destino; por consiguiente el despacho se imprime al mismo tiempo á su salida y á su llegada, resultando así una doble comprobacion de la trasmision. Si logramos hacer que se comprenda bien cómo tiene efecto esta impresion en el aparato de la estacion expedidora, tan sólo nos restará demostrar de qué modo se obtiene el sincronismo de los movimientos del aparato en la estacion de destino, en virtud de las emisiones é interrupciones sucesivas de la corriente en la línea.

La figura 300 representa el aparato completo, en que el manipulador y el receptor están en parte confundidos. Sobre una mesa hay un mecanismo de relojería de gran potencia, puesto en accion por un motor que pesa lo ménos 50 kilógramos; en la parte anterior de la misma se ve el teclado del manipulador, compuesto de veintiocho teclas, veintiseis de las cuales corresponden á las letras, cifras y demás signos marcados en su superficie visible, y las otras dos sirven, una para producir los blancos ó intervalos entre las palabras, y otra para imprimir á

beneplácito, si es menester, el signo, cifra ó señal que cada tecla lleva marcada sobre la letra alfabética.

El aparato de relojería, puesto en movimiento, hace girar con velocidades diferentes tres ejes ó árboles, dos de ellos horizontales y el otro vertical. El primero de dichos árboles es el *eje de tipos*, que lleva exteriormente una rueda T

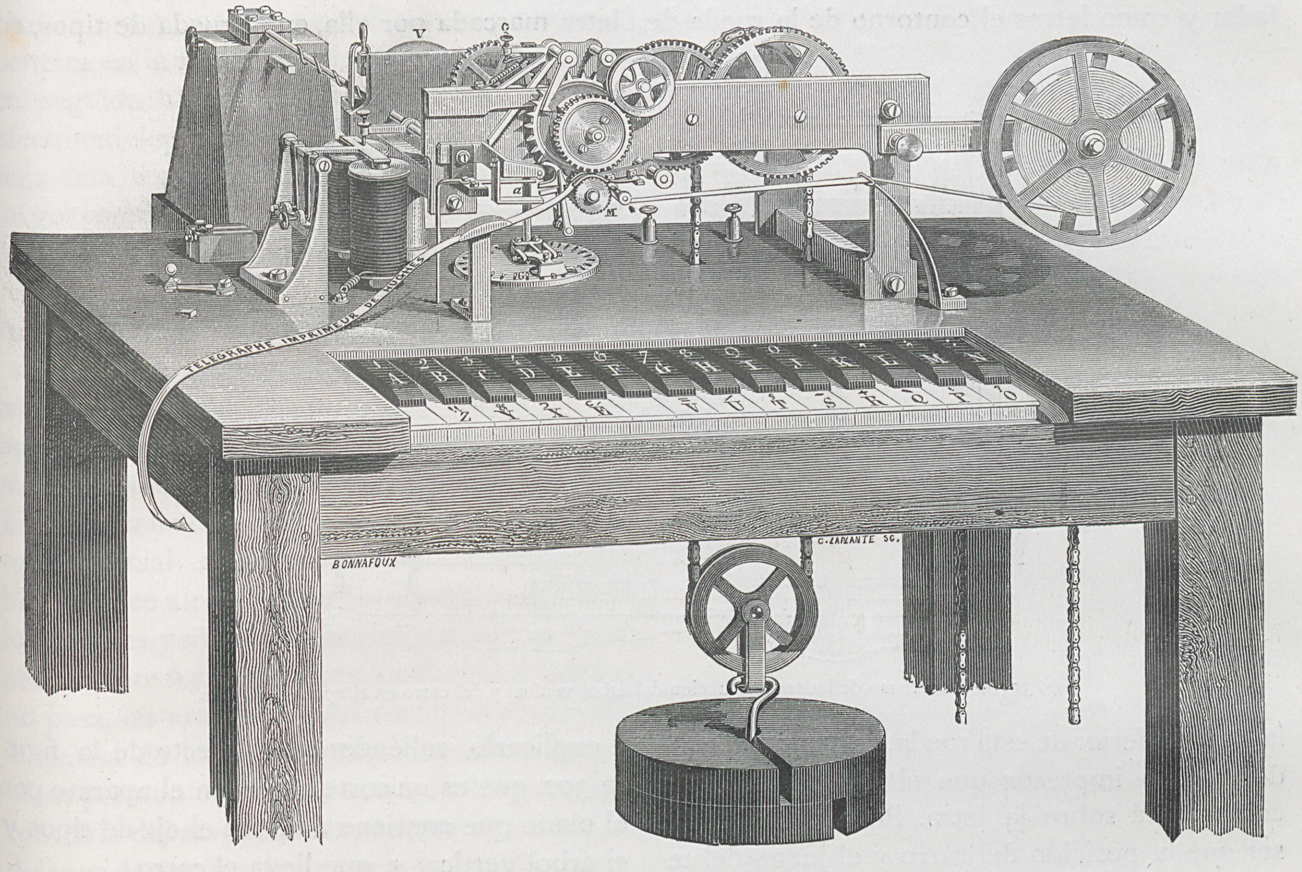


Fig. 300.—Aparato impresor de Hughes

(figs. 301 y 302), en cuyo contorno están grabadas en relieve las letras del alfabeto, y en los intervalos las cifras, signos de puntuacion y demás señales necesarias para la mejor inteligencia de los despachos. Detrás de la rueda de tipos y en el mismo eje está la *rueda de correccion* T', que tiene por objeto restablecer el sincronismo de los movimientos, en el caso de que haya retraso ó adelanto de un receptor respecto de otro. Otras dos ruedas dentadas sirven para trasmitir el movimiento á los otros dos ejes.

El segundo árbol, *eje impresor*, gira con velocidad mucho mayor que el de tipos. Lleva una serie de cuatro excéntricas ó muñones *u*, *w*, *x*, *y* (fig. 301), cuya funcion ya veremos, uno de los cuales tiene por principal objeto empujar el rodillo impresor M contra el papel, y éste contra las letras de la rueda de tipos dadas de tinta por un rodillo K. El segundo árbol está dividido en dos partes reunidas por un engranaje especial, de suerte que la parte que con su movimiento produce la impresion no anda sino cuando se ha bajado alguna de las teclas del manipulador, ha pasado la corriente y ha entrado

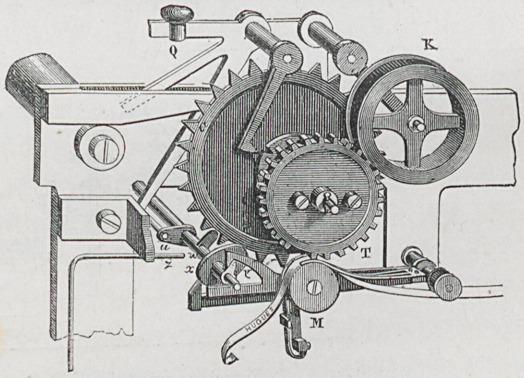


Fig. 301.—Relacion entre la rueda de tipos y la impresora

en accion un mecanismo particular por efecto del paso de ésta.

El tercer árbol *a*, que es vertical, recibe su movimiento del eje de tipos por medio de una rueda de ángulo, y al girar, pone en marcha un

carro sobre un disco ó platina horizontal G, haciéndole describir una circunferencia entera al mismo tiempo que la rueda de tipos efectúa una rotacion completa. El disco G, tiene veintiocho agujeros, tantos como teclas el manipulador y como letras el contorno de la rueda de tipos. Ahora bien, el movimiento de las diferentes piezas del mecanismo está regulado de tal modo, que en el momento preciso de pasar el carro por delante de un agujero correspondiente á una tecla determinada, se encuentra la letra marcada por ella, en la rueda de tipos, en

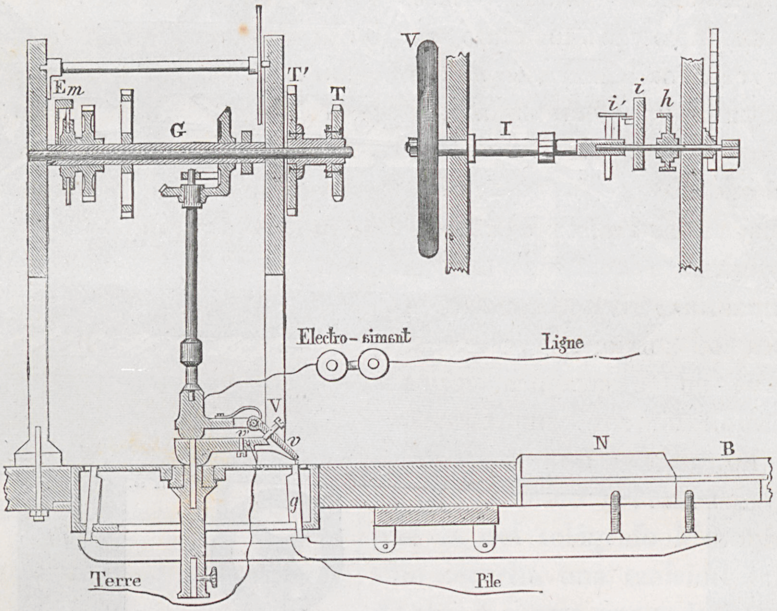
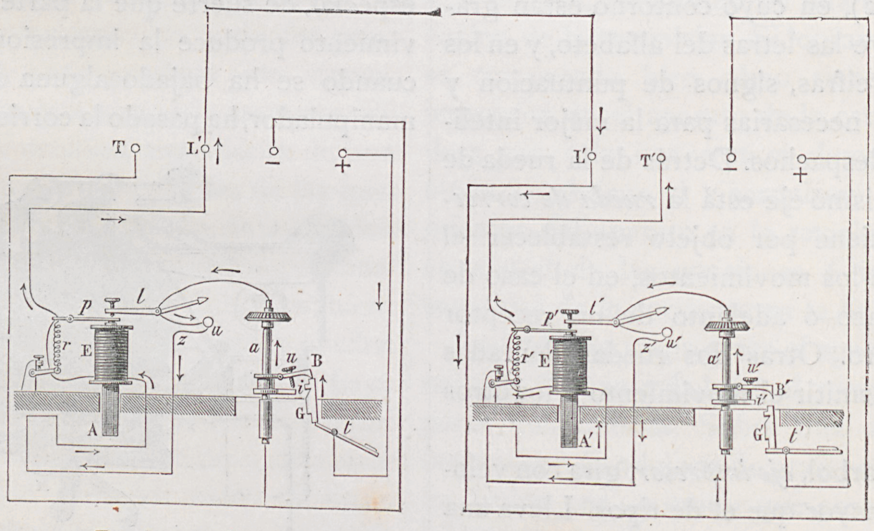


Fig. 302.—Mecanismo de las teclas: funcion del árbol vertical y del carro en el aparato Hughes

la parte inferior de esta rueda, es decir, enfrente del rodillo impresor que el eje de muñones comprimirá sobre la letra. Pero ¿cómo puede ser que la posicion del carro y el juego del teclado produzcan la accion de este eje? Vamos á explicarlo, valiéndonos al efecto de la figura 302, que es un corte hecho en el aparato por el plano que contiene á la vez el eje de tipos y el árbol vertical *a*, que lleva el carro.

El árbol vertical está formado de dos partes



Estacion expedidora

Estacion recibidora

Fig. 303.—Emisiones de corriente en el aparato Hughes

metálicas aisladas por un cilindro de marfil, y el brazo de dicho árbol, que constituye el carro, consta á su vez de dos partes ó labios *v* y *v'*, unidas por un tornillo V. La pieza *v* pasa precisamente por encima de los agujeros del disco en el movimiento de rotacion del eje; miéntras está baja en la posicion marcada en la figura, la corriente voltaica llega á la parte inferior del árbol, y por el tornillo V, pasa á tierra (véase tambien la fig. 303, estacion recibidora). Pero

si se baja una tecla, su extremidad levanta una lengüeta *g*, la cual levanta á su vez la pieza *v* del carro y aisla las dos partes del árbol *a*. Partiendo entónces la corriente del polo positivo de la pila, sigue el camino indicado por las flechas (fig. 303), pasando por los puntos *t* G B *a*, penetra en la hélice del electro-iman E, y pasa en seguida al hilo de línea, produciendo su efecto en el aparato receptor. Cada vez que se baja una tecla, resulta igual efecto, mas tan luégo como se la levanta, se interrumpe la corriente y el efecto cesa.

Esto por lo que hace á las emisiones é interrupciones de la corriente.

Ahora debemos examinar en qué consiste la accion alternativa de la corriente, ya en el aparato trasmisor, ya en el receptor, cuyos movimientos son absolutamente sincrónicos. El electro-iman E (fig. 303) es de una estructura especial: está formado de dos piezas de hierro dulce alrededor de las cuales se enrollan los carretes, y situadas sobre los polos de un iman permanente A de herradura. Cuando la corriente no pasa, las armaduras del electro-iman atraen la paleta de la palanca *p* que se apoya contra ellas; pero no bien pasa, como obra en sentido contrario del magnetismo permanente, el hierro dulce se desimanta; la palanca *p* cede á la accion de un muelle *r* y se separa de las armaduras. La paleta levanta en su movimiento una palanca *l* que actúa á su vez, sobre una del eje impresor, el cual participa del movimiento de los demás ejes, y despues de dar una vuelta, este engranaje se suelta y el eje se detiene.

Veamos ahora cómo puede efectuar este eje la impresion de la letra cuya tecla correspondiente ha producido, al bajarse y al emitir la corriente, los efectos mecánicos que acabamos de describir. El eje impresor lleva una excéntrica aguda *p* (fig. 304), que á cada movimiento de rotacion da contra el diente *b* de una palanca *ab*T y la levanta; cuya palanca obliga al rodillo impresor M (fig. 302) á apoyar la cinta de papel en la letra dada de tinta de la rueda de tipos que pasa en este momento. Pues bien, esta letra, á cada paso de la corriente, es precisamente la misma cuya tecla ha dado lugar á que se levante la lengüeta en el agujero del disco G y la pieza del carro que pasa por encima. La letra resulta impresa al vuelo, por decirlo así, por cuanto la rueda de tipos no se detiene. Las otras tres excéntricas del eje impresor sirven, la una, en forma de caracol, para bajar la palanca IU que lleva una palanca *r*, la del movimiento del papel, y hace avanzar un diente á la rueda dentada E; la cinta de papel avanza así; la tercera excéntrica sirve para actuar sobre los dientes de la rueda correctriz, reparando así las desviaciones, retrasos ó adelantos de esta rueda, y restableciendo la concordancia perfecta entre la rueda de tipos y el carro; por último, la cuarta sirve para colocar de nuevo los aparatos en el blanco de la rueda de tipos.

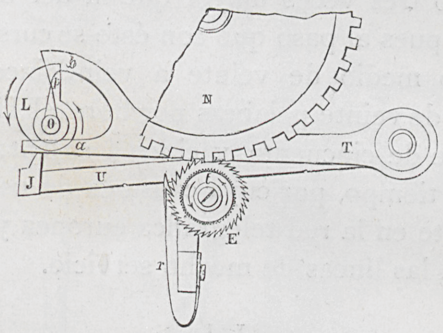


Fig. 304.—Mecanismo de la impresion en el aparato de Hughes

Hé aquí cómo se procede para trasmitir un despacho:

El empleado de la estacion trasmitidora llama á la estacion á la cual debe trasmitir el despacho, soltando la manecilla que sujeta el freno del volante del aparato de relojería, que se pone en marcha, y en seguida baja una tecla blanca para hacer resonar el timbre de la estacion recibidora. Avisado el empleado de ésta, pone su aparato en marcha, y los dos empleados, bajando simultáneamente la palanca de detencion Q, arreglan sus aparatos, es decir, ponen las ruedas de tipos en el blanco; luégo ven si hay sincronismo, repitiendo cierto número de veces una misma letra, la A por ejemplo. Si hay concordancia de velocidad, se repite siempre la misma letra; si no, se repite la anterior ó la siguiente á A, y marca el retraso ó el adelanto. El sincronismo se arregla actuando sobre un regulador de péndulo cónico ó sobre una lengüeta vibrante.

Una vez arreglados los aparatos, la estacion expedidora trasmite sucesivamente las letras de que se compone el despacho, manipulando el teclado; el telégrama se imprime simultánea-

mente en las dos estaciones, y se envian al destinatario, tales como se han recibido, las cintas impresas, cortadas en fragmentos de igual longitud y pegadas en una hoja de papel.

Por esta descripcion, un tanto prolija, y áun cuando hemos tenido que hacer caso omiso de ciertos detalles del mecanismo, se ve que el telégrafo impresor de Hughes es mucho más complicado que los sistemas anteriormente descritos. Pero esta misma complicacion, necesaria para resolver todas las dificultades del problema, hace aún más admirable el resultado obtenido, resultado verdaderamente maravilloso, cuando se piensa que la rapidez de trasmision es dos ó tres veces mayor que la del aparato Morse, pues al paso que con éste se cursan por término medio de veinte á veinticinco despachos de veinte palabras por hora, el Hughes imprime de cincuenta y cinco á sesenta en el mismo tiempo, por cuya causa es de uso muy frecuente en la red telegráfica europea y sobre todo en las líneas de mucho servicio.

III

APARATOS AUTOGRÁFICOS.—SISTEMAS CASELLI, MEYER Y EDISON

Hemos dicho que la idea de utilizar las propiedades electrolíticas de la pila para trasmitir signos data de los primeros años de este siglo; yendo unidos á las primeras tentativas hechas al efecto los nombres de Coxe, Sœmmering y Schweigger. En el telégrafo del segundo de estos físicos se marcaban las señales mediante el desprendimiento de burbujas de hidrógeno. En 1839 valióse E. Davy de las reacciones electroquímicas para imprimir los signos en una hoja de papel ó en una tela convenientemente preparada. Doce años despues, Bain construia su telégrafo impresor, basado en la propiedad que tiene la corriente voltaica de descomponer el cianuro de potasio produciendo un compuesto de color, el azul de Prusia, que se deposita en el papel del receptor, siempre que pasa la corriente y miéntras dura su paso. Siendo el manipulador y el receptor iguales á los del sistema Morse, en la cinta de papel del aparato Bain salian puntos ó rayas azules más ó ménos largas, cuya combinacion constituia el despacho. En un principio, dicho físico hacia describir al punzon metálico del receptor una espiral compacta en una hoja de papel comun, pero el principio era el mismo.

Posteriormente se han inventado otros telégrafos electroquímicos, pero no puede entrar en nuestro plan el describirlos. Solamente queremos relacionar estos sistemas con los aparatos conocidos hoy con los nombres de *telégrafos autográficos* ó de *pantelégrafos*, y que han recibido la sancion de una experiencia verdaderamente práctica.

En estos telégrafos impresores de nuevo género, ya no se trata solamente de trasmitir signos, que como los aparatos escritores, dejan rastro del despacho, ó de que los reproduzcan é impriman en caractéres alfabéticos, sino que el problema propuesto y resuelto con asombroso ingenio, consistia en obtener en la estacion recibidora la reproduccion fiel, el verdadero facsímile del carácter de letra del despacho, y hasta dibujos, mapas, planos y retratos, en una palabra, un verdadero autógrafo que el destinatario recibe del expedidor, de modo que aquél posea en caso necesario un documento auténtico. A primera vista, no puede darse nada más extraordinario que la solucion de semejante problema, y sin embargo, vamos á ver que en el fondo se comprenden fácilmente los medios merced á los cuales se ha realizado esta solucion.

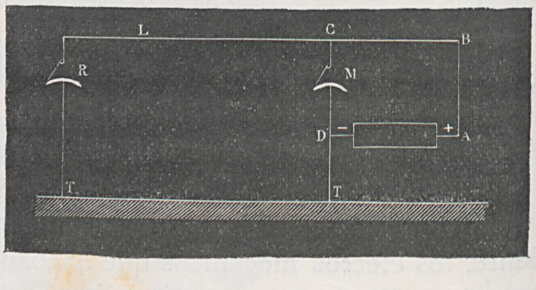


Fig. 305.—Principio del sistema autográfico de Caselli

Supongamos que en dos estaciones colaterales se han puesto dos placas de cobre M R (figura 305) en comunicacion con tierra T. Sobre la placa M de la estacion expedidora se coloca una hoja de papel metalizado, en cuya hoja ha escrito el expedidor de su puño y letra el texto del despacho con tinta grasa aisladora. En la placa R de la otra estacion se pone una hoja de papel impregnada préviamente de cianuro amarillo de potasio y de hierro. En relacion con la

pila y con el hilo de línea hay dos estiletes de hierro s s' que pueden moverse describiendo sincrónicamente y con igual velocidad líneas paralelas muy juntas en las dos hojas de papel. Más adelante veremos cómo se imprime el movimiento á estos estiletes, y cómo se regulariza por medio de péndulos que oscilan simultáneamente en ambas estaciones. En virtud de otro movimiento se van corriendo las hojas de papel á medida que quedan trazadas las líneas de que hablamos, de suerte que si el estilete s recorre totalmente en la placa del manipulador la superficie del papel en que está escrito el despacho, el estilete s' recorrerá precisamente en el mismo espacio de tiempo una superficie igual en el papel químico de la placa de la estacion de destino.

Del sistema de comunicacion eléctrica marcado en la figura, resulta lo siguiente: siempre que el estilete s toca la parte metálica ó conductora del despacho, la corriente de la pila pasa por el circuito A B C D, que ofrece á la electricidad mucha ménos resistencia que el hilo de línea, cuya longitud es relativamente considerable; la corriente va á parar á tierra en la estacion de partida, y como no entra en el aparato receptor, éste no recibe nada.

Pero si el estilete del manipulador toca las partes aisladoras, es decir, si pasa por los trazos mismos del escrito ó del dibujo del despacho, se cierra el circuito en A B C D, pero queda abierto en la línea, y va á parar la corriente al estilete s' del receptor. Esta corriente influye químicamente en el punto de la hoja impregnada de cianuro por el que pasa la corriente



Fig. 306.—Facsímile de un dibujo reproducido por el pantelégrafo Caselli

para ir á tierra, y esta sustancia se descompone, resultando azul de Prusia que queda marcado en el papel. Esta impresion se reproduce siempre que el estilete del manipulador encuentra partes señaladas con tinta aisladora; y el número de trazos, y su longitud en cada línea recorrida sincrónicamente por los dos estiletes serán tan iguales en la estacion de partida como en la de llegada. Por consiguiente el despacho resultará reproducido idénticamente en el papel

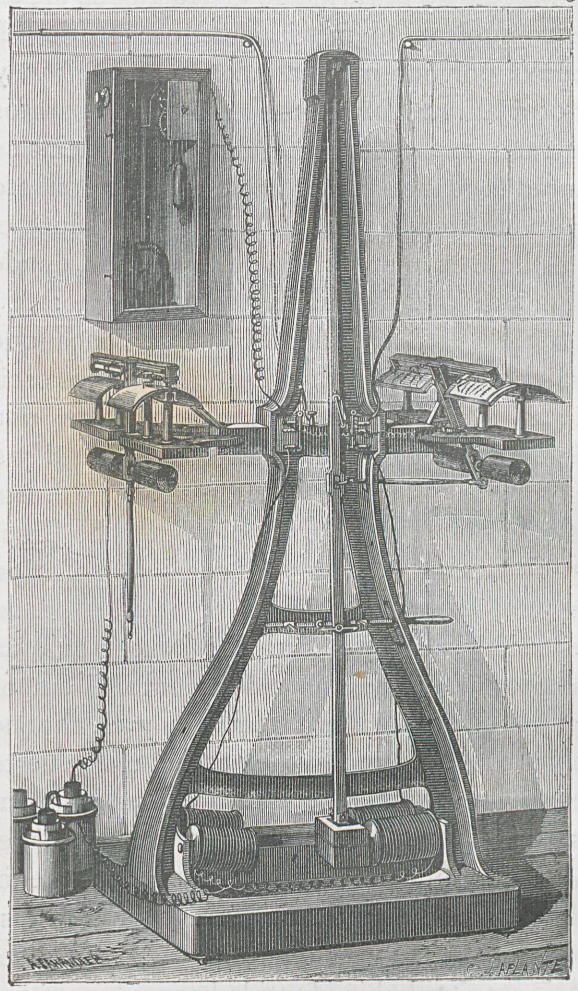


Fig. 307.—Pantelégrafo Caselli

cianurado en trazos azules; la única diferencia con el original consistirá en que no estando absolutamente en contacto las líneas sucesivas trazadas por los estiletes, los trazos del despacho reproducido no serán rigorosamente continuos. La figura 306 da una idea exacta de esta diferencia; pero se ve que no se altera en modo alguno la forma general del despacho primitivo, y que el aparato de este sistema puede llamarse con razon *telégrafo autográfico.*

Este sistema, cuyo principio acabamos de describir, es el de Caselli. Como no hay inconveniente en reproducir del modo indicado toda clase de escritos, dibujos y signos, con tal que estén trazados en el papel metálico adoptado, compréndese la razon de la denomina-

cion de *pantelégrafo* dada á los aparatos de este sistema.

Su motor es un péndulo cuya varilla metálica, de 2 metros de longitud, pende de una sólida armazon de hierro, lastrada con una masa rectangular de hierro de 8 kilógramos. En la parte media de la varilla se articulan dos bielas que comunican el movimiento oscilatorio del péndulo, por una parte al aparato *trasmisor*, y por otra al *receptor*. Como estos dos aparatos funcionan separadamente, una de las bielas se desprende cuando la otra recibe su movimiento de vaiven, siendo esta biela la que produce el del estilete en la superficie del trasmisor, donde está colocado el despacho. Hé aquí cómo:

La biela está articulada con la palanca que lleva el estilo, haciéndola describir en sus oscilaciones sucesivas, así como al estilete, una serie de arcos de círculo paralelos entre sí y á la superficie cilíndrica de metal en la cual está sujeto el papel metalizado del despacho (figura 307). Cuando el péndulo hace una oscilacion completa, el estilete cursor se mueve de izquierda á derecha y recorre el despacho en toda su anchura. Al final del movimiento, el cursor tropieza con una pieza metálica y el choque vuelve la pieza que lleva el estilete, de suerte que éste se levanta y se aparta del papel miéntras dura la oscilacion siguiente; así pues, el aparato no funciona sino durante una media oscilacion del péndulo. El motivo de esta disposicion consiste en haber demostrado la experiencia que no habia identidad entre los efectos producidos por las oscilaciones de sentido contrario; mas el aparato trasmisor es doble para utilizar estas oscilaciones, sólo que los mecanismos están invertidos sucediendo lo propio en los receptores. De aquí resulta que no se pierde tiempo alguno, y que se pueden trasmitir y recibir dos despachos simultáneamente.

Para que el pantelégrafo Caselli funcione bien, es condicion indispensable que haya sincronismo perfecto entre los movimientos del péndulo de la estacion de partida y los del de la estacion de llegada. Y no tan sólo deben ser isócronas sus oscilaciones, sino que sus amplitudes han de ser enteramente iguales, para que los estiletes se muevan simultáneamente en las dos estaciones y estén animados en el mismo instante de velocidades tambien iguales. En cada uno de los extremos del arco que describe la masa del péndulo hay un electro-iman situado en el sentido del arco, con sus armaduras en frente de la masa de hierro, cuando esta llega al término de cada oscilacion, sea á la derecha ó sea á la izquierda. En este momento, una corriente emitida por un cronómetro regulador,—el que se ve á la izquierda y á la parte superior de la figura 307—anima el

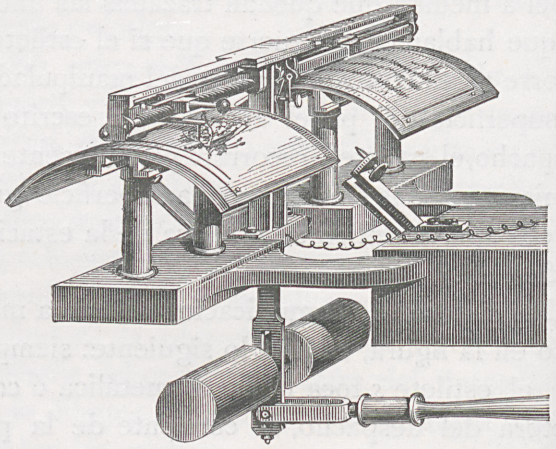


Fig. 308.—Trasmisor y receptor del pantelégrafo Caselli

electro-iman y su armadura, que atrae la masa del péndulo, la mantiene inmóvil un instante, y por consiguiente hace que cada oscilacion sea de la misma amplitud. La interrupcion de la corriente se efectúa por el movimiento mismo del péndulo del cronómetro que, á cada doble oscilacion, separa un pequeño muelle y abre el circuito. El conmutador, cuya funcion consiste en dar paso á la corriente é interceptarla, recibe á su vez su movimiento de una pieza articulada á frotamiento duro en la varilla del péndulo.

Vese pues que el sincronismo de los dos péndulos en ambas estaciones depende de la concordancia de los movimientos de los péndulos cronométricos que acompañan á los primeros. Estos cronómetros reguladores, cuyos péndulos marchan con doble velocidad que los del pantelégrafo, se regulan separadamente con toda la exactitud apetecible, exactitud que facilitan los mecanismos de relojería que los componen.

El papel cianurado en que se imprimen los despachos debe estar cuidadosamente preparado, y conservado á un grado de humedad conveniente. Hasta la calidad del papel tiene su importancia. Las hojas metalizadas que sirven para escribir los despachos con una tinta espe-

cial son hojas de papel blanco plateadas esmeradamente en la prensa y con anchos márgenes. Tienen tres rayas: una sirve de punto de partida para la marcha del estilete cursor, y las otras dos marcan los límites del despacho.

Por lo demás, no hay nada tan sencillo como el modo de funcionar del pantelégrafo. Colócase el despacho escrito sobre la superficie del cilindro trasmisor. El empleado de la estacion da la señal de aviso con el timbre ó por cualquier otro medio, y en seguida pone en marcha el péndulo. La trasmision del despacho es automática, sin que el empleado tenga que efectuar manipulacion alguna, y por consiguiente sin necesidad de adquirir conocimientos especiales. Como se pueden trasmitir simultáneamente dos despachos, y por otra parte no hay inconveniente en que se use un sistema de escritura abreviado, por ejemplo la estenografía, la trasmision puede ser muy rápida. «Los largos péndulos del telégrafo Caselli, dice M. Quet, efectúan por lo regular cuarenta oscilaciones por minuto, y los estiletes trazan cuarenta rayas separadas entre sí $^1/_3$ de milímetro. Así pues, las rayas extremas trazadas en un minuto por los estiletes distan una de otra 13 milímetros, y en 20 minutos, 260. Como se da á las rayas 11 centímetros de longitud, resulta que el aparato Caselli reproduce en veinte minutos el facsímile del escrito, de los retratos ó de los dibujos trazados en una hoja metalizada de 11 centímetros de ancho por 26 de largo. Para que la reproduccion salga con limpieza es menester que el carácter de letra sea algo grande y muy legible.»

En 1865 se abrió al servicio público la línea de Paris á Lyon y Marsella para la trasmision de despachos con este sistema maravilloso, hoy dia desechado (1).

M. Meyer, empleado de las líneas telegráficas francesas, ha ideado y construido un aparato autográfico, cuyo principio difiere del pantelégrafo Caselli, pero que funciona tambien con regularidad y rapidez notables, reproduciendo el facsímile de los despachos expedidos.

El trasmisor del telégrafo autográfico Meyer (fig. 309) es un cilindro metálico en el cual se

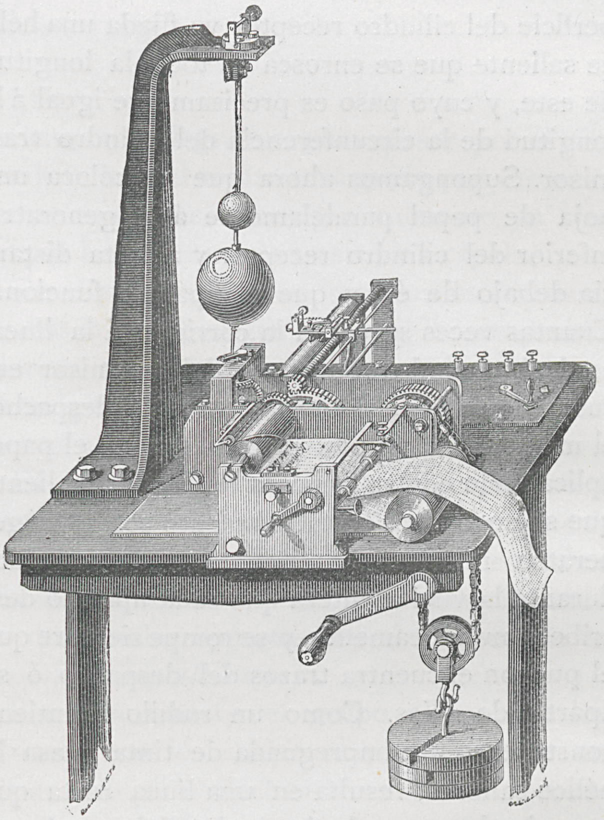


Fig. 309.—Telégrafo autográfico Meyer

enrolla el despacho escrito como en el sistema Caselli. Este cilindro recibe un movimiento uniforme de un mecanismo de relojería regularizado por una varilla vibrante. Un punzon metálico situado sobre dos pequeñas barras-carriles se mueve á su vez en el sentido de las generatrices del cilindro, en cuya superficie describe por consiguiente una hélice ó espiral de vueltas muy juntas. Dicho punzon está enlazado con la pila y con el hilo de línea, y por lo tanto abre ó cierra el circuito entre las dos estaciones que comunican, segun que encuentre en el papel metalizado partes conductoras ó partes aisladoras, es decir, segun que toque la capa de plata del papel ó los trazos

(1) «Si no se ha generalizado su uso, dice con razon M. Bontemps, consiste en que en cierto modo no es indispensable para las necesidades comunes, pues el público no da al parecer gran importancia á la reproduccion autográfica de los escritos. Por lo que respecta á la trasmision telegráfica de dibujos ó de cualesquiera figuras, debe considerarse como un caso puramente excepcional. El aparato Caselli se presta á muchas combinaciones: mencionaremos solamente, como experimento curioso, la reproduccion telegráfica de un dibujo de varios colores. El punzon de hierro animado por la corriente da con el cianuro de potasio una tinta azul. Cuando se le sustituye con un punzon de cobre, resulta una tinta roja, obteniéndose con otros metales y otras disoluciones colores diferentes. Así pues, si en la estacion de partida se descompone el dibujo en muchas hojas en cada una de las cuales se hayan trazado las partes correspondientes á un color determinado, y si en la de llegada se reciben las trasmisiones sucesivas en un mismo papel, cuidando de usar para cada una de ellas el punzon y la disolucion convenientes, se reproduce el dibujo de muchos colores.»

del despacho hechos con tinta. Hasta aquí, salvo la diferencia en la clase de movimiento, el principio de la trasmision es el mismo que en el pantelégrafo ántes descrito.

El aparato receptor se compone de un cilindro animado de un movimiento de rotacion absolutamente idéntico al del cilindro trasmisor. Miéntras el uno da una vuelta, el otro la da tambien con velocidad uniforme. En la superficie del cilindro receptor va fijada una hélice saliente que se enrosca en toda la longitud de este, y cuyo paso es precisamente igual á la longitud de la circunferencia del cilindro trasmisor. Supongamos ahora que se coloca una hoja de papel paralelamente á la generatriz inferior del cilindro receptor y á corta distancia debajo de él, y que el aparato funciona. Cuantas veces se emita la corriente á la línea, es decir, cuando el punzon del trasmisor encuentre partes aisladoras ó trazos del despacho, el movimiento de una paleta levanta el papel aplicándolo contra la punta de la hélice saliente que se encuentra en tal momento sobre la generatriz inferior. Este contacto se establece durante la vuelta entera que cada aparato describe simultáneamente, y se rompe siempre que el punzon encuentra trazos del despacho ó se aparta de ellos. Como un rodillo mantiene constantemente impregnada de tinta grasa la hélice saliente, resulta en una línea recta que se extiende por todo lo ancho del papel una serie de puntos ó rayas negras que reproducen idénticamente la línea encontrada por el punzon á cada vuelta del despacho; y como por otra parte el papel se corre bajo el cilindro de modo que á cada vuelta avanza una cantidad igual á los intervalos de las vueltas en espiral del punzon, resultará finalmente en la hoja del receptor una serie de marcas cuyo conjunto formará el facsímile del despacho.

El telégrafo Meyer exige, lo propio que el Caselli, el perfecto sincronismo de los movimientos de los aparatos en las estaciones de partida y de llegada. Toda la cuestion consiste, pues, en regular el mecanismo de relojería que sirve de motor. Vese que si el aparato Caselli es una combinacion del telégrafo electro-químico de Bain, con un mecanismo particular cuyo sincronismo lo arregla la electricidad, el aparato Meyer se puede considerar como una combinacion del telégrafo Caselli con ciertas partes de los sistemas Morse y Hughes.

Los telégrafos autográficos Meyer y Caselli figuraron en la Exposicion de Electricidad de 1881. Tambien se exhibió en ella otro sistema inventado por M. Lenoir, así como el telégrafo autográfico de Edison. En el aparato Lenoir se escribe tambien el despacho en papel metálico con una tinta aisladora; en la estacion receptora se efectúa la impresion con un tubo capilar de vidrio lleno de tinta con glicerina; á cada paso del punzon del aparato trasmisor por una parte aislada, es decir, sobre un trazo del despacho, la armadura del electro-iman de la estacion receptora hace que la punta del tubo se apoye en el papel é imprima otro trazo igual. Gracias al sincronismo de los movimientos de los aparatos trasmisor y receptor, el conjunto de los trazos impresos de este modo reproduce el despacho en facsímile.

Los aparatos de trasmision y recepcion del sistema Edison son idénticos. Un motor eléctrico los pone en movimiento, y un péndulo cónico lo regulariza; dicho motor hace girar sincrónicamente en cada estacion un cilindro; en el de la estacion expedidora se enrolla el despacho escrito y en el de la receptora el papel en que se debe recibir. Este despacho se traza en papel algo blando, no con tinta grasa aisladora, sino con un lápiz comun algo duro, de lo cual resulta que todos los caractéres escritos con él aparecen trazados en hueco en el papel. Ahora bien, la rotacion del cilindro trasmisor produce en su superficie el movimiento en espiral de una angosta tira metálica que tiene en su extremo un agujero en el cual va metida una punta móvil de acero que se apoya en el papel del despacho. Miéntras esta punta encuentra las partes lisas del papel, continúa al nivel de la placa metálica, pero si pasa por delante de un hueco, es decir, de una parte escrita, baja, ocasionando este movimiento, mediante un contacto á propósito, la emision de una corriente á la línea. El punzon del cilindro receptor, puesto en accion por esta corriente, produce al punto una raya azul en el papel que lo rodea, sucediendo lo mismo cuantas veces baja la punta á causa del relieve en hueco del despacho que se trasmite. El conjunto de las rayas que resultan de este modo es la re-

produccion autográfica del escrito del despacho.

Todos los aparatos que acabamos de describir son muy ingeniosos; pero, segun hemos dicho ya al tratar del pantelégrafo Caselli, ofrecen un interés teórico más bien que verdadera importancia práctica, á causa de lo raro de los casos en que los particulares necesitan trasmitir la autografía de sus despachos.

CAPÍTULO V

APARATOS DE TRASMISION RAPIDA

I

TRASMISION AUTOMÁTICA.—EL JACQUARD ELÉCTRICO WHEATSTONE

La correspondencia telegráfica ha adquirido tan prodigioso incremento de treinta años á esta parte, sobre todo en ciertas líneas de gran extension, que de dia en dia son insuficientes los sistemas más perfeccionados en cuanto á la sencillez de los signos y la rapidez de su trasmision. La habilidad de los mejores telegrafistas no ha bastado á subsanar esta insuficiencia, y en muchas estaciones hay dias en que se aglomera el servicio de tal modo que se trasmiten los despachos con gran retraso. La reduccion progresiva del precio de los telégramas ha contribuido á aumentar los inconvenientes de esta situacion.

¿Cómo remediarlos? ¿De qué modo se puede dar rápida salida al servicio de las líneas? Tal es el problema cuya solucion se ha confiado á los directores é ingenieros telegráficos.

La idea que pareció al pronto más natural y sencilla fué multiplicar el número de hilos en las líneas de más servicio, aumentando en proporcion el de los empleados encargados de la trasmision y recepcion de despachos. Esta solucion podia efectivamente ser aplicable á las líneas de corto trayecto, y al interior de las grandes ciudades, siendo tambien, en tales condiciones, la más económica. Pero es impracticable en las líneas de mucha extension, porque entónces el gasto de su primera instalacion resultaba sumamente crecido.

Ha sido pues menester buscar de otro modo la solucion del problema propuesto, discurrir medios á propósito para aumentar la capacidad de trasmision de un hilo ó, como se dice en lenguaje telegráfico, para cursar por él más servicio, lo cual se ha conseguido por distintas maneras, clasificándose generalmente en tres grupos los sistemas de trasmision rápida.

En el primero figuran los aparatos *trasmisores automáticos*; en este sistema, los despachos se trasmiten por series, de un modo continuo, sin exigir el trabajo de un empleado especial; en una palabra, la trasmision es automática.

El segundo grupo comprende aparatos ó disposiciones particulares de sistemas conocidos, que permiten trasmitir muchos despachos á la vez por el mismo hilo, á una misma banda ó á dos bandas opuestas: es el sistema de la *trasmision simultánea*.

Por último, el tercer grupo comprende los aparatos con los cuales se puede utilizar un mismo hilo para muchos trasmisores, aprovechando alternativamente y durante brevísimos períodos las emisiones de corrientes á la línea. Estos son los *trasmisores múltiples*.

Un buen empleado, haciendo uso del alfabeto Morse, apénas puede trasmitir, por término medio, más de 500 palabras por hora, ó sea 25 despachos de 20 palabras, contando cada palabra de 5 letras. Sin embargo, por el hilo podria trasmitirse un número mucho mayor de signos. Los trasmisores automáticos obvian la imposibilidad de sostener la trasmision en su velocidad máxima, sin que se fatigue el empleado. Vamos á describir, como ejemplo del primer método, el *trasmisor automático* ó *Jacquard eléctrico* de Wheatstone. Esta última denominacion procede de la similitud de este aparato con el telar inventado por el célebre mecánico lionés.

Prepáranse los despachos de antemano, preparacion que consiste en hacer en cintas de

papel agujeros cuya colocacion y separacion corresponden con los puntos, rayas é intervalos necesarios para constituir un despacho escrito en el alfabeto Morse.

La figura 310 da un ejemplo de esta perforacion, que va á servirnos para explicar el modo de funcionar de esta parte del aparato Wheatstone. En medio de la cinta se ve una serie de agujeros abiertos á igual distancia entre sí, cuyo objeto es hacer que el papel se desenrolle con regularidad en el trasmisor; en estas perforaciones centrales penetran los dien-

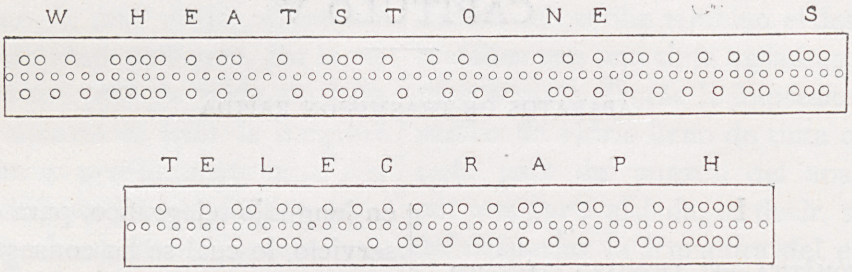


Fig. 310.—Cintas perforadas del Jacquard eléctrico

tes de un disco que recibe su movimiento del aparato de relojería del trasmisor y va desenrollando la cinta.

Las otras dos líneas de agujeros forman los puntos y rayas de los signos Morse: dos agujeros situados en línea recta ó frente á frente constituyen un punto, y dos en diagonal una raya. Un agujero aislado de la línea central

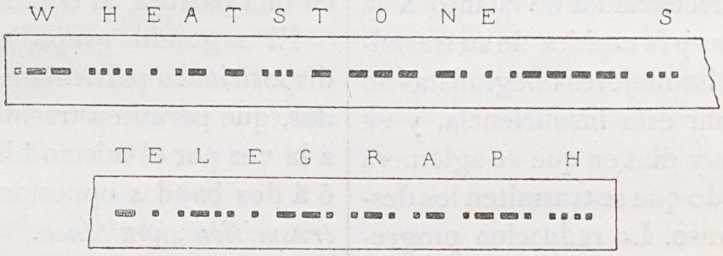


Fig. 311.—Despacho impreso automáticamente en la estacion de destino

corresponde al intervalo entre dos letras, y tres al de dos palabras. Vese por esto que la porcion de cinta perforada de la figura 310 se deberá traducir en la cinta del receptor impresor por los signos de la fig. 311, los cuales se traducen así en lenguaje ordinario

WHEATSTONE'S TELEGRAPH

El aparato que sirve para preparar ó taladrar los despachos, el *perforador Wheatstone*, está representado en la fig. 312 en plano y en elevacion. Tres botones *a*, *b*, *c*, corresponden con tres palancas, una de las cuales produce los agujeros que marcan un punto, la segunda los que indican las rayas, y la del medio los de la línea central: la depresion de un punzon de acero sobre la cinta de papel en movimiento, P P′, forma los agujeros separados y situados segun hemos dicho.

Así pues, los despachos se pueden componer ó escribir separadamente por empleados especiales, sin utilizar para ello el hilo de línea, resultando de aquí que el tiempo necesario para esta preparacion no se deduce del que se requiere

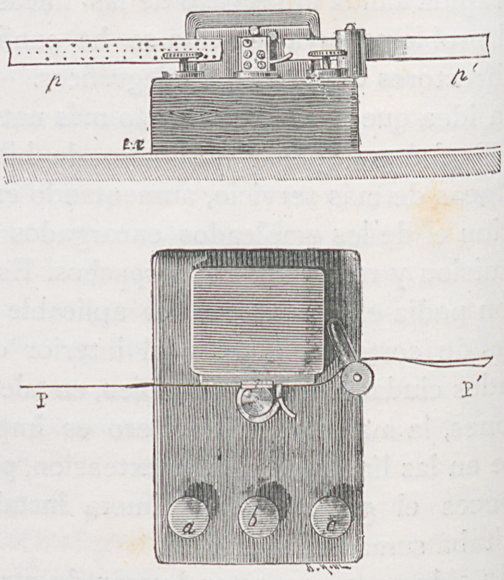


Fig. 312.—Perforador Wheatstone

para la trasmision, que verificándose automáticamente, de una manera regular y continua,

puede ser mucho más rápida que la efectuada por el empleado más hábil.

Veamos ahora cómo pueden trasmitir las cintas perforadas al hilo los signos inscritos en ellas de antemano, para lo cual consideraremos el diagrama de la figura 313 que representa

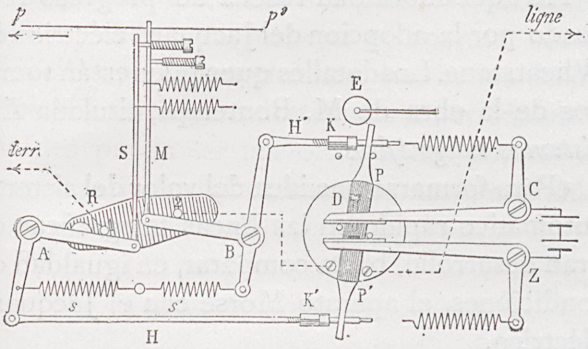


Fig. 313.—Diagrama de la trasmision de los signos en el aparato automático Wheatstone

los varios órganos del trasmisor. R es un balancin de ebonita, en forma de rombo, que recibe de las ruedas del aparato un movimiento oscilatorio, correspondiendo cada fase de este movimiento al avance de la cinta perforada, de uno á otro de los agujeros de la línea central. Dos espigas 1 y 2, fijas á este balancin, empujan alternativamente los brazos de las palancas metálicas A y B, comunicándoles un movimiento de balanceo en perfecta concordancia con el de R. Dos vástagos M y S, articulados en los extremos de los mismos brazos de palanca, oscilan verticalmente debajo de las dos líneas de perforacion de la cinta *pp'* correspondiendo con los signos del despacho; si en su movimiento de abajo arriba encuentran uno de los agujeros, pasan al través de la cinta; si por el contrario, encuentran un intervalo sin agujerear, queda limitado á él su movimiento de ascension. En el primer caso pasa á la línea una corriente positiva ó negativa, y en el contrario, queda interceptada la comunicacion ó no pasa ninguna corriente.

En efecto, á causa del juego de las dos varillas H y H' y de los cuellos K y K' en que terminan, los brazos de palanca A y B ponen en movimiento un disco D, cuyos dos segmentos metálicos están aislados por una banda central: este disco oscila alrededor de su centro como el balancin R. Dos palancas C y Z en comunicacion constante, la primera con el polo positivo de la pila y la segunda con el negativo, empujan alternativamente dos espigas fijas en cada mitad del disco. La figura 314 representa las posiciones sucesivas ocupadas por el disco á cada mitad de una de sus oscilaciones completas. Fácilmente se ve que en la primera posicion pasa á la línea una corriente positiva, y en la segunda, una negativa. Estas corrientes alternativamente positivas y negativas, se sucederian sin interrupcion, si la cinta perforada *pp'* no estuviera en su sitio, porque entónces las varillas S y M no estarian limitadas en sus movimientos de ascension, y por medio de las espigas 1 y 2, y *a* y *b*, el circuito quedaria cerrado. Lo propio sucederia si las varillas, encontrando agujeros, pudieran pasar al través de la cinta en movimiento.

Por el contrario, quedando limitado el juego de las varillas en los puntos en que la cinta no está perforada, las palancas acodadas no acompañan ya hasta el extremo á las bornas 1 y 2. En este caso, se intercepta la comunicacion con tierra ó con la línea, y no pasa ninguna corriente.

Así pues, á cada oscilacion, un *punto* del despacho da una corriente invertida, lo cual tiene efecto á la segunda oscilacion si se trata de una *raya*.

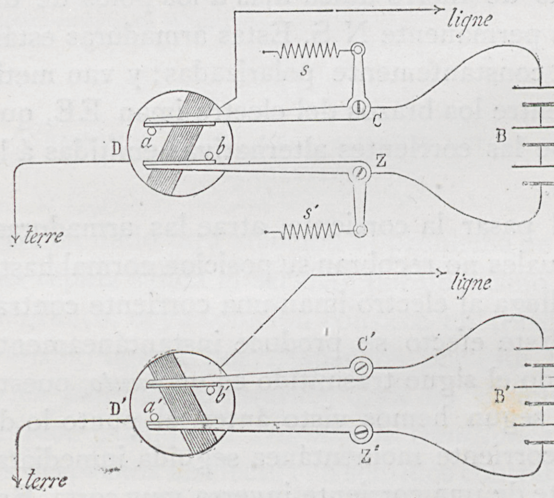


Fig. 314.—Trasmision de los signos

Réstanos indicar cómo queda inscrita automáticamente en el aparato receptor la sucesion de corrientes invertidas, emitidas á la línea en los intervalos correspondientes á los signos de la cinta perforada, reproduciendo en él en caractéres Morse las letras y demás signos de que se compone el despacho.

El receptor no es otra cosa sino un Morse

impresor, representado en la figura 315. Pero este aparato se distingue en un punto esencial de los que se usan para la recepcion en el sistema Morse ordinario.

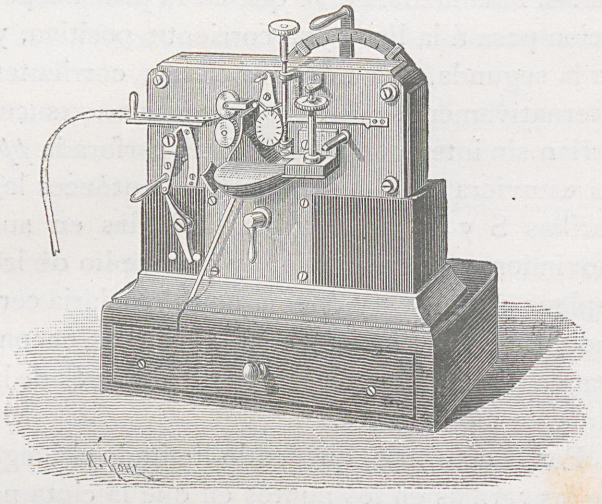


Fig. 315.—Receptor del telégrafo automático de Wheatstone

El papel en que se inscriben los signos del despacho se desenrolla con uniformidad enfrente del tintero cilíndrico: resulta impreso en él un signo cuando el disco impresor se pone en contacto con el papel y lo empuja contra el cilindro. El movimiento que ocasiona esta presion lo comunica el eje *a* (fig. 316), al que hacen girar las armaduras T y T', las cuales son unas piezas de hierro dulce fijas á los polos de un iman permanente N S. Estas armaduras están pues constantemente polarizadas; y van metidas entre los brazos del electro-iman EE, que recibe las corrientes alternativas emitidas á la línea.

Al pasar la corriente, atrae las armaduras, las cuales no recobran su posicion normal hasta que llega al electro-iman una corriente contraria. Este efecto se produce instantáneamente cuando el signo trasmitido es un *punto*, puesto que, segun hemos visto ántes, el punto lo da una corriente momentánea seguida inmediatamente de una corriente inversa muy corta. Entónces es muy breve el contacto del disco impresor con la cinta de papel, y resulta trazado un *punto*. Si el signo que sigue es una *raya*, la corriente es de corta duracion, pero no va seguida de otra corriente inversa hasta que trascurre un intervalo más largo. El contacto del disco con la cinta es tambien más largo, y el signo impreso es una *raya*.

Por lo que antecede se ve cómo dan lugar los agujeros del papel-cinta del trasmisor, segun su distancia y posicion, á sucesiones más ó ménos rápidas de corriente en la línea, que á su vez producen en el receptor signos impresos los cuales reproducen fielmente los del despacho trasmitido.

Hé aquí ahora una reseña del progreso realizado por la adopcion del Jacquard eléctrico de Wheatstone. Los detalles que siguen están tomados de la obra de M. Bontemps, titulada *Los sistemas telegráficos:*

«Para formarse una idea del valor del sistema automático rápido en las líneas telegráficas de gran desarrollo, basta comparar, en igualdad de condiciones, el aparato Morse con el Jacquard eléctrico.

»Para utilizar un aparato que reuniese á tanta velocidad de trasmision tan poderosos medios de inscripcion, era preciso adoptar un sistema especial de trasmision y recepcion para economizar el trabajo manual y sacar del hilo el mayor servicio posible. Los despachos pasan pues por grupos á la máquina que debe trasmitirlos por el hilo, lo que equivale á decir que, para un circuito de 500 kilómetros de longitud se perforan 12 despachos de 30 palabras en una cinta continua y se expiden por el trasmisor á la vez y viceversa. El hilo de Lóndres á

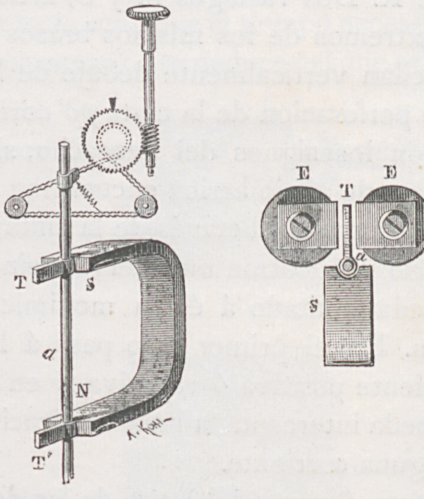


Fig. 316.—Detalles del receptor automático

Birmingham, por ejemplo, puede expedir cuatro grupos distintos de 12 despachos cada uno y recibir tres grupos semejantes en una hora, lo cual equivale á 84 despachos de 30 palabras; suponiendo un promedio de 5 letras por palabra, esto forma un total de 12,600 letras, y 210 por minuto, ó sea 42 palabras en el mismo

espacio de tiempo comprendiendo los acuses de recibo y demás formalidades de costumbre.

»Puede sostenerse esta rapidez siempre que haga buen tiempo, con un personal de cinco empleados en las estaciones de orígen y destino, á saber: dos para perforar los despachos en el papel-cinta, otros dos para trasmitir y escribir, y otro para manejar el aparato, acusar el recibo, pedir repeticiones, etc. Si los despachos son oficiales ó destinados á periódicos, la rapidez puede ser mayor, primero porque no es necesario agrupar los telégramas, y segundo, porque generalmente las trasmisiones se efectúan solamente en un sentido, ya sean recibidos ó expedidos, circunstancias que reducen considerablemente la demora inicial de la trasmision. En el hilo de Aberdeen á Lóndres se puede llegar á 40 palabras, en el de Lóndres á Edimburgo, á 50; entre Newcastle del Tyne y Lóndres se ha llegado á 60, y por último, entre Glascow y Liverpool, á 120. La velocidad está en razon inversa de la longitud de la línea.»

Hoy llama la atencion un aparato de trasmision automática que tiene por principio, como

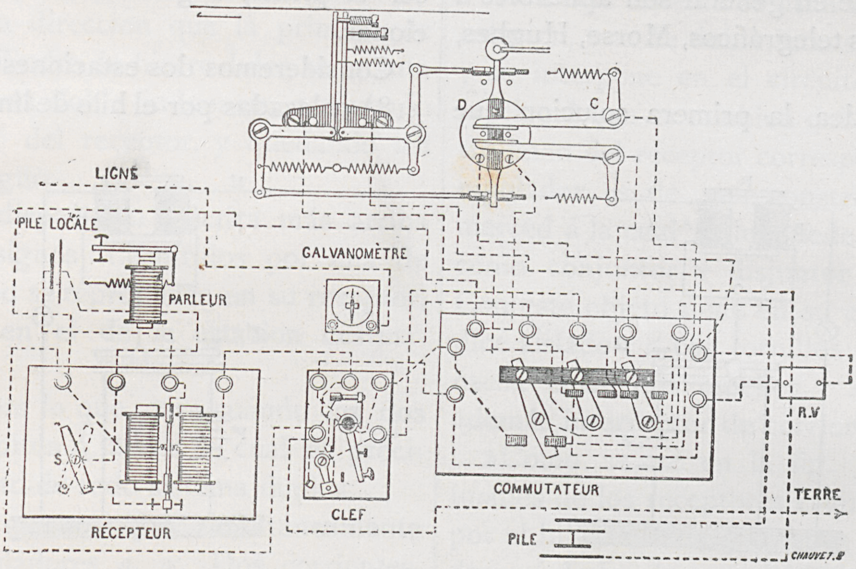


Fig. 317.—Montaje de una estacion electro-automática Wheatstone

el de Wheatstone, la perforacion prévia de las cintas que sirven para la trasmision de los telégramas, y que funciona, segun parece, entre Boston y New-York, en una línea de 250 millas (400 kilómetros). Los perfeccionamientos introducidos en el sistema por los inventores Foote, Romdal y Anderson son tales que la rapidez de trasmision llega á 1,000 ó 1,200 palabras *por minuto*. Segun *La Naturaleza*, de cuya Revista tomamos estos detalles, «con un solo hilo servido por quince perforadores, quince copistas y dos buenos empleados en cada extremo para trasmitir y recibir, se pueden preparar, trasmitir y distribuir 1,200 telégramas por hora, cifra á la que jamás se habia llegado *con un solo hilo*.» Ignoramos en qué consisten las innovaciones que dan á este aparato tal superioridad sobre el Jacquard Wheatstone (1).

II

TRASMISION SIMULTÁNEA.—SISTEMAS DUPLEX Y CUADRUPLEX

Se ha dado otra solucion al problema de dar más rápida salida al servicio por un mismo hilo telegráfico, cuya solucion consiste en trasmitir al mismo tiempo dos despachos por este hilo, ya en sentidos contrarios, ó ya en el mismo sentido. Cuando la *trasmision simultánea* de dos despachos se efectúa en sentidos contrarios, es decir cuando dos estaciones comunican á la vez entre sí, se llama *sistema duplex* ó simplemente *duplex* este modo de trasmision. Si los dos despachos recorren á la vez el hilo en el

(1) La Compañía americana que explota este aparato ha discurrido un medio de dar más fácil salida al servicio de su línea y que sólo es posible donde la telegrafía eléctrica es una industria privada. Proporciona á sus clientes perforadoras para que puedan preparar por sí mismos sus despachos en cintas de papel taladradas. Además, en vez de copiar y trascribir en caractéres comunes los despachos recibidos en signos Morse, se remiten las mismas cintas á los destinatarios. De este modo la Compañía economiza tiempo y empleados, y tasa los despachos segun su longitud, cobrándolos por *yardas* sin contar las palabras.

mismo sentido, el sistema lleva el nombre de *diplex;* por último, el *cuadruplex* consiste en la combinacion del duplex y del diplex, de suerte que un mismo hilo sirve para la trasmision simultánea de cuatro despachos, dos en el mismo sentido, y otros dos en sentido contrario.

Digamos desde luégo que estas denominaciones no se aplican á aparatos telegráficos de una clase especial, sino á ciertas disposiciones adoptadas para la combinacion de los órganos de trasmision eléctrica por una línea, á arreglos ideados en vista de los efectos que acabamos de describir, y que en general son aplicables á todos los aparatos telegráficos, Morse, Hughes, Wheatstone, etc.

La primera idea, la primera solucion que pudo hallarse para este problema data del año 1853, cabiendo este honor al doctor Gintl de Viena; sin embargo, su aplicacion no fué posible hasta más adelante. El sistema duplex de Stearn es el primero que funcionó, en la línea de Nueva York á Buffalo; en Francia se le aplicó al aparato Hughes en la línea de París al Havre; pero segun hemos dicho, se le puede aplicar indiferentemente á cualquier aparato telegráfico, como todo sistema duplex. Posteriormente, se han inventado muchos sistemas análogos; pero lo que importa es conocer el principio general de su modo de funcionar.

Consideremos dos estaciones Morse (figura 318) enlazadas por el hilo de línea L L'. Ambas

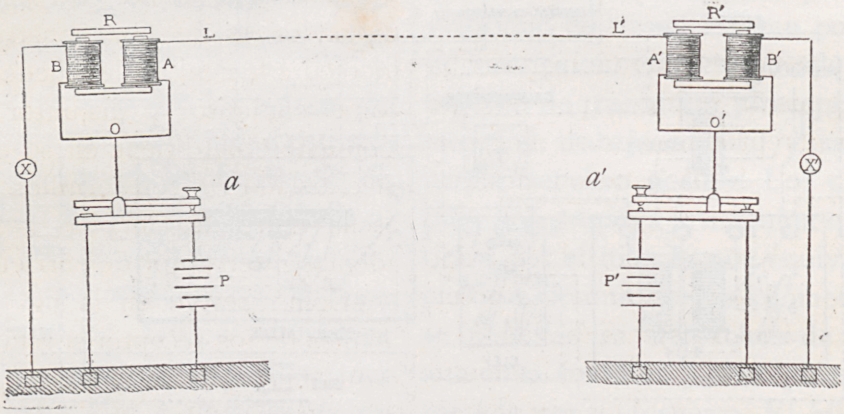


Fig. 318.—Diagrama de un sistema duplex

están montadas del mismo modo, ó compuestas de aparatos simétricos, que reduciremos para mayor sencillez á los manipuladores *a*, *a'*, puestos en comunicacion con las pilas P P' y con los receptores R R'. Las armaduras de estos receptores están enfrente de los polos de los electro-imanes A B y A' B'; pero los hilos de las bobinas están enrollados de modo que si una misma corriente ó dos corrientes de igual intensidad los atraviesan á la vez, el efecto resultante es nulo en sus polos (1). En una palabra, como la imantacion que las corrientes propenden á comunicar al cilindro de hierro dulce del electro-iman se efectúa á la vez en los dos sentidos opuestos, es nula, no produciéndose ninguna accion en la armadura del receptor.

Esto sentado, vamos á ver lo que ocurre cuando una sola de las estaciones trasmite, por ejemplo, la de la izquierda. El empleado de esta estacion baja el manipulador *a*, y al punto pasa la corriente de la pila P al hilo que se divide en O. La corriente se divide tambien; la mitad de ella pasa por la bobina A al hilo de línea; la otra mitad va á la bobina B y en seguida á tierra, de suerte que no ejerce influencia alguna en el receptor R, segun hemos dicho ántes. ¿Qué se requiere para que las dos partes bifurcadas de la corriente trasmitida se neutralicen así? Que sean iguales de intensidad, y por lo tanto que los circuitos sean equivalentes ú ofrezcan igual resistencia á la corriente. Para conseguir este resultado, es menester aumentar el circuito de la bobina B interponiendo al efecto una resistencia artificial á propósito. El reostato ó caja de resistencia X está

(1) En vez de dos bobinas que funcionen aisladamente en sentido inverso una de otra, se puede emplear una sola; en cuyo caso esta bobina está formada de dos hélices separadas absolutamente idénticas, enrolladas alrededor del núcleo de hierro dulce. Siendo la direccion de las espirales la misma, las corrientes se anulan cuando son iguales y de opuestos sentidos, y se duplican si su direccion es la misma.

calculado de modo que produzca precisamente este efecto.

Gracias á este artificio, que es el principio esencial de todo sistema duplex, el receptor de la estacion de que parte la señal ó la corriente no recibe movimiento alguno; quedando en disposicion de recibir la trasmision de la estacion opuesta.

Veamos ahora cómo actúa en la otra estacion la porcion de corriente que ha salido por el hilo de línea. Atraviesa la bobina A′, y va por O′ á tierra. Otra porcion de la corriente se bifurca en O′ y pasa tambien á la bobina B′, pero en la misma direccion que la primera, de suerte que el cilindro de hierro dulce se imanta por efecto de esta doble influencia, atrayendo la armadura R′ del receptor, y quedando así trasmitido el signo.

Así pues, la disposicion descrita más arriba es tal que los signos trasmitidos por una de las estaciones no se reproducen en su receptor, sino tan sólo en el de la estacion destinataria.

Digamos ahora lo que pasa cuando las dos estaciones trasmiten á la vez, lo cual es precisamente el objeto de todo sistema duplex.

Supongamos que se bajan simultáneamente los dos manipuladores *a*, *a′*. Dos corrientes, salidas de dos pilas perfectamente iguales por lo que respecta á su fuerza electromotriz, van á parar á la vez al hilo de línea, donde se destruyen ó contrabalancean, puesto que son iguales y de sentido contrario. Pero entónces las porciones de cada corriente que, despues de su bifurcacion en O y O′, han pasado á tierra por las bobinas B y B′ y las cajas de resistencia X y X′ obran directamente en los receptores; las armaduras se ponen en movimiento y resultan trasmitidos los signos. En una palabra, cuando la trasmision es única, el receptor de la estacion de orígen permanece inmóvil, y el de la de llegada recibe los signos como de costumbre. Si la trasmision es simultánea, cada receptor recibe la de la estacion opuesta por la accion diferencial de las dos porciones de corrientes que emite, quedando una de ellas anulada por la que la otra estacion envia á la línea.

Los sistemas duplex son muchos; por cuanto las combinaciones basadas en el mismo principio pueden variar en gran manera. Todas ellas se refieren á dos tipos principales: el primero es el que hemos procurado definir, y que lleva el nombre de *sistema diferencial*. Los otros estan fundados en el uso del *puente de Wheatstone*, del cual diremos algo más adelante. Describamos, tomándolo de Du Moncel, uno de los duplex que han figurado en la Exposicion internacional de Electricidad de 1881, es decir, el sistema de Tommasi, con el que se han hecho pruebas entre Nantes y Paris, en una de las líneas del ferro-carril del Oeste.

«En este sistema se usan dos pilas en cada estacion, una de doble intensidad que la otra, y se interpone en el circuito una resistencia adicional que es tambien doble de la del electro-iman del receptor correspondiente. El manipulador es de una construccion particular, merced á la cual se le puede hacer funcionar como conjuntor y disjuntor de la corriente. Con este objeto tiene en su extremo un apéndice aislado *c c′* con tornillos de contacto, que oscila entre dos muelles *r s*, *r′ s′*, formando además interruptor de corriente en *a a′*.

»Como se ve en la fig. 319, los electroimanes de los receptores están unidos entre sí por el hilo de línea, y con los apéndices aislados *c c′* de los dos manipuladores. Estos están á su vez en relacion con la línea por una derivacion en la cual está interpuesta la resistencia R R′, que es doble de la de los electro-imanes correspondientes. Por último, hallándose las pilas P, *p* y P′ *p′* en comunicacion con los aparatos, segun se ve en la figura, es decir, en sentido inverso de una estacion á otra, hé aquí lo que sucede cuando se trasmite:

»Estando las dos estaciones en reposo, la línea y los electro-imanes E E′ se hallan en comunicacion con tierra por los apéndices *c c′* y los muelles *s s′* que comunican con ella, y por consiguiente no hay ninguna pila en el circuito.

»Si la estacion de la izquierda trasmite, la pila P se pone en comunicacion con la línea por la derivacion R; pero al llegar la corriente al hilo de línea L, encuentra dos vías para encaminarse, una á la derecha por la línea, y otra á la izquierda por el electro-iman E; mas por este lado no halla salida, pues por una parte el muelle *s* no está ya en contacto con el apéndi-

ce c, y el camino que podria abrirle el muelle r, en contacto con el apéndice c, está interceptado por la pila p cuya corriente es de sentido contrario. Sin embargo, como esta corriente es la mitad ménos intensa que la de la pila mayor, podria creerse que una parte de ella se escapa por este lado; mas como la corriente de la pila mayor resulta debilitada por la resistencia R, y únicamente podria pasar por esta vía la corriente derivada al través de E, no pasa ninguna por este lado, y casi toda la corriente de la pila P va á animar el electro-iman de la estacion de la derecha que pasa á tierra por el muelle s. Todo ocurre entónces como en una trasmision ordinaria, y, naturalmente, lo mismo sucederia si la estacion de la derecha fuese la trasmisora.

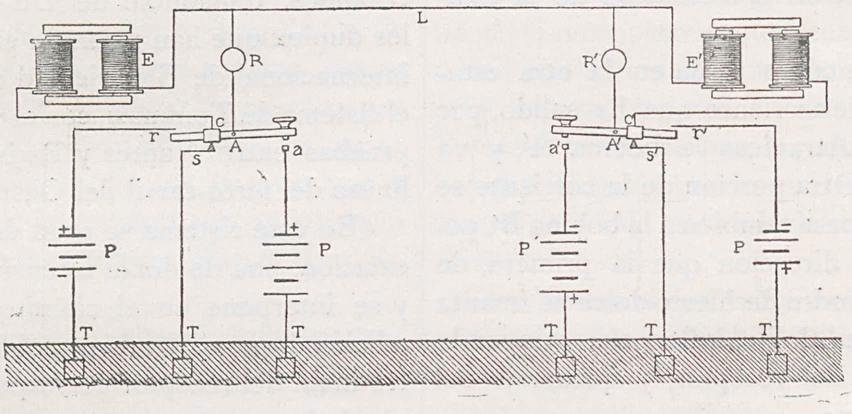


Fig. 319.—Montaje del sistema duplex Tommasi

»Ahora, si las dos estaciones trasmiten á la vez, las corrientes de las dos pilas de línea se agregan en tension á ambas estaciones y producirian una accion doble en los receptores, si no encontraran las derivaciones por R y R′, y las dos pilas p p', que actúan para restablecer el equilibrio. Y en efecto, al llegar la corriente de la pila P á la estacion de la derecha, pasa en parte por el electro-iman E′ y en parte por la derivacion R′. En este último trayecto se encuentra reforzada en a' por la pila P', pero tambien lo está en E′ por la pila p', con la cual se halla enlazada por medio del contacto r' y del apéndice c'; como la resistencia en la derivacion, en R′, es doble que la del electro-iman E′, y por otro lado la pila p es la mitad ménos enérgica que la P, hay compensacion en los efectos producidos, y resulta todo en el receptor como si únicamente la pila del trasmisor hubiese ejercido reaccion. En la otra estacion se dan los mismos resultados, puesto que las disposiciones del circuito son exactamente idénticas.»

III

TRASMISION SIMULTÁNEA.—TELÉGRAFO ARMÓNICO DE GRAY

M. Elisha Gray, sabio americano del cual habremos de ocuparnos en el capítulo consagrado al teléfono, ha ideado un sistema de trasmision simultánea cuyo principio es distinto del que acabamos de exponer, estando sacado en parte de la ley del sincronismo de las vibraciones sonoras propagadas por las corrientes eléctricas, por cuya causa se ha dado á este sistema el nombre de *telégrafo armónico*.

El telégrafo armónico de Gray resuelve el problema de la trasmision simultánea de muchos signos del modo siguiente. Emanado cada signo de un trasmisor especial, corresponde á la emision de una corriente de intensidad variable, estando enlazadas las mismas variaciones de corriente con las vibraciones de una lengüeta que produce un sonido determinado y fijo. El hilo de línea trasmite esta corriente variable, esta onda eléctrica al aparato receptor, y comunica á una lengüeta ó placa elástica las vibraciones de éste, porque esta lengüeta está afinada de modo que la afectan tan sólo dichas vibraciones, en una palabra porque está afinada al unísono con el trasmisor. Si dos, tres, cuatro ó más aparatos funcionan al propio tiempo y trasmiten á la vez por el mismo hilo otras tantas

ondas eléctricas distintas, estas ondas se reparten al llegar á la estacion de destino; cada una de ellas anima el receptor sincrónico correspondiente, y cada signo, cada despacho resulta así trasmitido con separacion, despues de haber viajado de conserva por el hilo con todos los demás.

Procuremos hacer comprender cómo se puede conseguir este objeto, reduciendo para ello el telégrafo armónico á sus órganos esenciales.

P, P', P''..... es la pila de la estacion de orígen, que por un lado está en comunicacion con tierra y por otro con el hilo de línea. Esta pila está dividida en tantos grupos como trasmisores especiales hay en la estacion, y en cada uno de estos hay colocado en deriva-

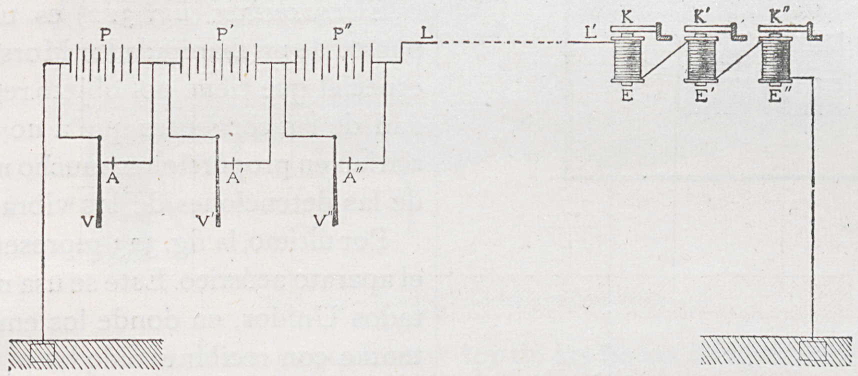


Fig. 320.—Montaje del sistema armónico de Gray

cion un circuito que comprende una lengüeta vibrante V V' V'' y un tornillo de contacto A A' A''.

Las corrientes emitidas á la línea por la estacion de partida atraviesan en la de llegada los electro-imanes E E' E'' dispuestos en serie. Las lengüetas vibrantes K K' K'' situadas en frente de sus polos y fijas sólidamente por uno de sus extremos, están arregladas de modo que dan tres notas distintas al unísono de tres lengüetas vibrantes de la estacion trasmisora. Cada uno de los vibradores de esta estacion, puesto en accion por una pila y un electro-iman especial, está constantemente animado de un movimiento vibratorio determinado, que le hace emitir el sonido fundamental por el cual se le ha regulado. Siempre que uno de ellos toca su contacto, la corriente se debilita á causa del cierre del circuito derivado correspondiente, para recobrar su primitiva intensidad no bien cesa el contacto. De aquí resultan vibraciones de la corriente cuya rapidez depende del número de oscilaciones del vibrador, y que engendran tantas ondas eléctricas como vibradores hay. Al llegar á la estacion receptora, estas tres series de ondas trasmitidas simultáneamente á la línea, encontrarán tres varillas afinadas con cada una de ellas, y que vibrarán bajo la sola influencia de la onda sincrónica.

Supongamos ahora que se detiene el movimiento de uno de los vibradores; al punto queda suprimida la onda eléctrica correspondiente, y se detiene tambien la varilla del receptor puesta en vibracion por ella. Si la detencion del vibrador es corta, la de la varilla receptora lo será asimismo; si larga, la de esta lo será tambien. En la estacion de llegada se reproducirán de un modo idéntico las series de detenciones largas ó cortas de la estacion trasmisora, y si, por ejemplo, corresponden á los signos del alfabeto Morse, resultará un despacho trasmitido que, en América, se recibe en un aparato acústico de los llamados *parleur*, pero que se podria recibir tambien en un aparato Morse cualquiera.

Funcionando simultáneamente los tres ó cuatro trasmisores, afectan á la vez á las varillas vibrantes de los receptores, aunque tan sólo afectan á cada una de ellas las detenciones del vibrador correspondiente. Vése pues que con este sistema es segura la simultaneidad de la trasmision.

La descripcion que precede no tiene otro objeto sino el de hacer comprender el principio en que se ha basado M. Elisha Gray para idear su telégrafo armónico. Seria insuficiente, si con ella se quisiera explicar el juego detallado de todas sus partes, que representamos aquí con arreglo á los modelos que han figurado en la Exposicion internacional de Electricidad.

La figura 321 representa la disposicion del vibrador cuya lengüeta V está fija en el punto *o* y vibra bajo la influencia alternativa de los electro-imanes A, B, cuyos núcleos imanta

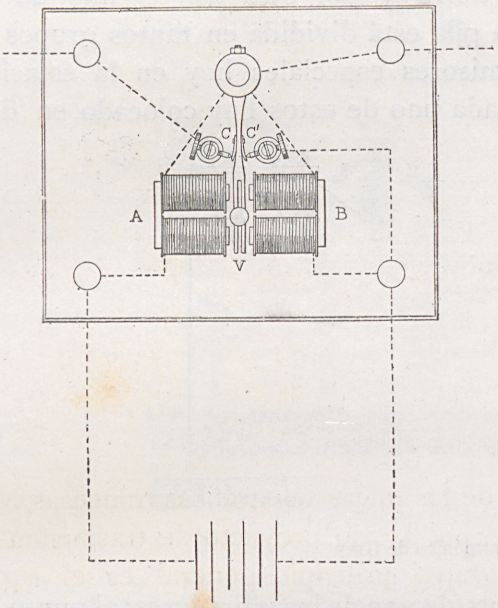


Fig. 321.—Vibrador del telégrafo armónico Gray

simultáneamente una pila especial, pero uno de los cuales, A por ejemplo, rodeado de un alambre de longitud convenientemente calculada, ofrece una resistencia cinco ó seis veces mayor que el otro. Atraida primeramente por el más fuerte, toca un contacto que deriva la corriente y la debilita; el otro electro-iman adquiere á su vez más fuerza y atrae la lengüeta. Interrumpiéndose en seguida la corriente cesa la derivacion, y los electro-imanes recobran su primera intensidad relativa. A atrae de nuevo la lengüeta y así sucesivamente, resultando de aquí una serie de vibraciones.

El *trasmisor* (fig. 322) es un aparato compuesto de un manipulador Morse de disposicion especial que tiene por objeto regular la intensidad de las corrientes que á no ser por esto variarian en proporciones mucho mayores á causa de las detenciones de los vibradores.

Por último, la fig. 323 representa el receptor y el aparato acústico. Este se usa mucho en los Estados Unidos, en donde los empleados se contentan con recibir al oído los signos sin conservarlos impresos. La pieza principal del receptor es una varilla de acero sujeta sólidamente por uno de sus extremos y arreglada de manera que, cuando vibra, da una nota perfectamente al unísono con la que emite la lengüeta del vibrador correspondiente. El otro extremo está delante de un electro-iman atravesado por las corrientes emitidas á la línea; mas para que las vibraciones producidas en estas corrientes por

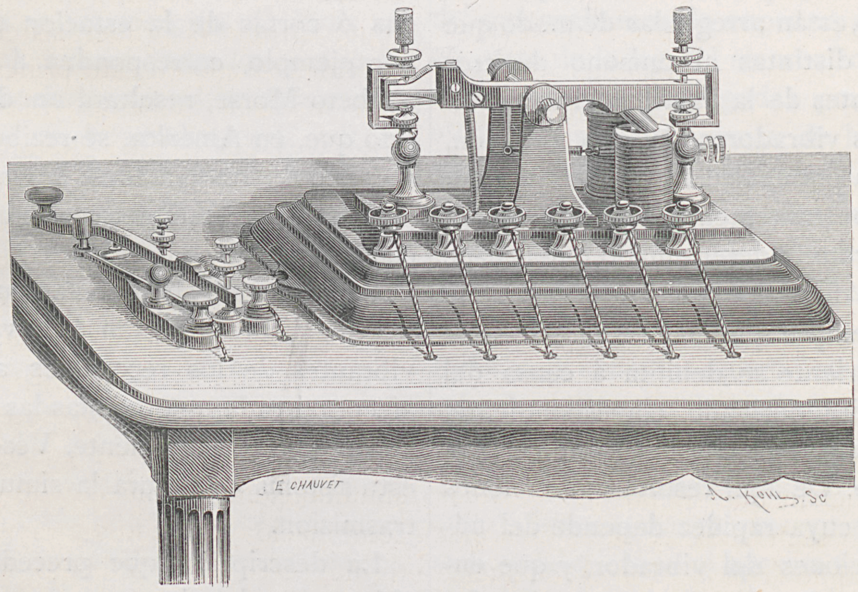


Fig. 322.—Trasmisor del telégrafo armónico

los trasmisores influyan en la varilla de acero, es preciso que concuerden con el número de vibraciones correspondientes á esta nota. Hay pues distribucion de las variaciones de las corrientes operada por los receptores mismos.

Las pruebas del telégrafo armónico de Gray, hechas en América por espacio de dos meses en la línea de Western-Union, entre Boston y Nueva-York (320 kilómetros), han dado excelentes resultados, y si bien se efectuaron en

condiciones poco favorables, su éxito fué completo. «En una de estas pruebas, dice M. A. Gueroult, cinco empleados trasmitieron en nueve horas 2,124 despachos, ó sea 236 por hora, ó 47 despachos por empleado y por hora. Otra vez cuatro de los mejores empleados trasmitieron en

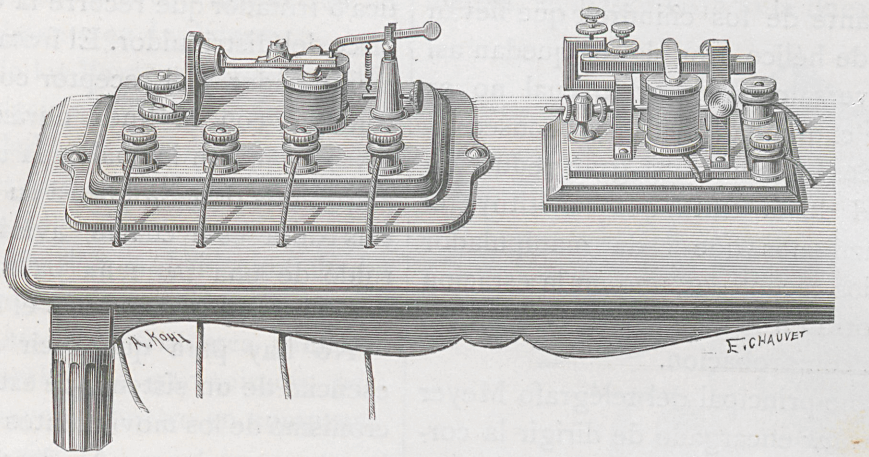


Fig. 323.—Receptor del telégrafo armónico

cinco horas 1,184 despachos, ó sea 59 por hombre y por hora.»

IV

TRASMISION MÚLTIPLE.—TELÉGRAFO MEYER: TELÉGRAFO BAUDOT

La rapidez de todo sistema de trasmision depende del número de emisiones de corriente que permita efectuar en un espacio de tiempo dado, por ejemplo en un segundo. La relacion entre este número real de emisiones, tal como la práctica lo comprueba, y el número posible, ideal, que marca la capacidad del hilo, es muy escasa. Esta rapidez depende tambien del número de emisiones que exige cada *carácter* (letra, cifra ó blanco de separacion entre las palabras) y de la habilidad del empleado que maneja el aparato. Admítese que un Morse expide por término medio 1,5 ó 2 caractéres por segundo; el telégrafo Hughes llega hasta 3, y si se aplica el duplex á uno ú otro sistema, estos números se duplican. Pues bien, los telégrafos automáticos prueban que se pueden efectuar 100 emisiones, ó sean unos 25 caractéres por segundo por un hilo (con el Morse), de suerte que los mejores sistemas distan mucho de aprovechar la capacidad receptora eléctrica de un hilo. De aquí han resultado los sistemas ó métodos perfeccionados de trasmision que acabamos de enumerar.

Se ha discurrido otro nuevo, cuya primera idea data de 1860. En dicha época, un inspector de las líneas telegráficas francesas, M. Rouvier, publicó su proyecto de trasmision múltiple, cuyo principio general es el siguiente: Dividir el tiempo de la trasmision en intervalos regulares y periódicos, cada uno de cuyos períodos está afecto á un manipulador particular; cierto número de empleados utiliza el hilo de línea, cada uno á su vez, de suerte que trasmiten y descansan alternativamente, y el hilo de línea funciona constantemente gracias á este medio. Meyer inventó en 1871 y aplicó á los signos Morse el primer sistema de trasmision múltiple basado en este principio, sistema que funciona especialmente en la línea de Paris á Lyon y en las grandes líneas de las redes suizas y austriacas.

Los aparatos trasmisores del telégrafo múltiple Meyer son manipuladores de teclado. Cada uno de ellos se compone de cuatro teclas blancas y otras tantas negras; bajando una de estas se produce una emision breve de la corriente, un *punto;* bajando una blanca, resulta una *raya*, y por consiguiente, bajando simultáneamente unas ú otras, se tiene una combinacion de puntos y rayas, cuyo conjunto forma, como en el alfabeto Morse, una letra, una cifra ó cualquier otro signo.

Cada uno de los receptores tiene por órgano impresor una fraccion de hélice de un cuarto de circunferencia (si hay cuatro manipuladores). La punta de una palanca que forma la armadura de un electro-iman apoya el papel sobre la hélice por espacio de un tiempo igual á la

duracion de la emision de la corriente; resultando una raya ó un punto en la cinta que se desenrolla con una velocidad de 3 milímetros por vuelta delante de los cilindros que llevan las fracciones de hélice. Los signos quedan así impresos trasversalmente; por lo cual no es posible que se confundan dos letras consecutivas, obteniéndose además una gran reduccion en la longitud de la cinta que constituye el despacho. Añadamos que cada manipulador puede servir dos receptores, uno en la estacion de partida y otra en la de llegada, con lo cual se tiene doble comprobacion.

Pero el órgano principal del telégrafo Meyer es el *distribuidor* encargado de dirigir la corriente de la pila al hilo de línea, de modo que las emisiones emanadas de cada manipulador pasan sucesivamente al receptor correspondiente de la estacion que trasmite, y de allí á la del de la que recibe. El distribuidor Meyer es una rueda metálica fija, aislada, dividida en su circunferencia en 48 partes iguales. Cada cuarto de círculo formado de 12 divisiones está afecto al servicio de un manipulador. Cuatro grupos de divisiones dobles están unidas por un haz de ocho hilos aislados con las ocho teclas de su teclado; las otras cuatro divisiones comprendidas entre los grupos están en comunicacion con tierra.

Un mecanismo de relojería, regularizado por un péndulo cónico, pone en movimiento á la vez las hélices de los receptores y una varilla elástica ó frotador que recorre la circunferencia del disco del distribuidor. El frotador pone así cada manipulador y el receptor correspondiente en contacto con la línea durante un cuarto de revolucion, con lo cual cada uno de los cuatro empleados tiene la línea á su disposicion miéntras dura este cuarto, avisándole además el ruido de una pequeña palanca del momento en que resulta trasmitido el signo que expide.

No hay para qué decir que la condicion esencial de un sistema de este género es el sincronismo de los movimientos de los aparatos en las dos estaciones. Al describir el telégrafo impresor Hughes vimos ya cómo podia realizarse esta condicion.

El telégrafo múltiple impresor Baudot, imprime en caractéres ordinarios los despachos que trasmite, como el telégrafo Hughes. Es una verdadera maravilla de precision y rapidez, por lo cual su autor ha obtenido en la Exposicion internacional de Electricidad una de las más altas recompensas, el diploma de honor. Necesitaríamos escribir muchos capítulos para que se comprendiera bien el modo de funcionar de todos los órganos de este sistema; por lo cual nos limitamos lisa y llanamente á hacer mencion de él.

CAPITULO VI

LAS LINEAS TELEGRAFICAS

I

LÍNEAS TELEGRÁFICAS AÉREAS.—LÍNEAS SUBTERRÁNEAS

Hasta ahora sólo hemos hablado de los aparatos que sirven para producir ó recibir signos.Réstanos describir los hilos que los trasmiten, es decir, que dan paso á las corrientes eléctricas, principio verdadero de la telegrafía.

Una línea de telegrafía eléctrica aérea se compone de alambres suspendidos por lo comun de postes de madera plantados á distancias iguales en el trayecto de la línea. En un principio estos alambres eran de cobre de 2 milímetros de diámetro. Este metal tenia la ventaja de ser muy buen conductor de la electricidad; mas aparte de su elevado precio, tenia el inconveniente de perder su elasticidad por efecto de los cambios de temperatura, y de hacerse quebradizo. El cobre, desechado generalmente, ha sido reemplazado por el hierro recocido, más resistente, ménos costoso, y al cual se dan 3, 4 ó 5 y hasta 6 milímetros de diámetro; el alambre de 3 milímetros se usa en las líneas que pasan por las vías férreas, el de 4 en las de servicio interior, y el de 5 en las

del internacional: por último, en las líneas un tanto largas, en las que importa que las corrientes encuentren la menor resistencia posible, se emplea alambre de 6 á 6,5 milímetros de diámetro, especialmente en Inglaterra.

Los alambres de las líneas telegráficas están galvanizados, es decir que despues de limpiarlos en agua acidulada, se los cubre de una delgada capa de zinc; esta se oxida al aire, lo cual preserva al hierro del orin, y además impide, por una accion eléctrica, la oxidacion de las partes que se encuentren accidentalmente á descubierto. Algunos constructores prefieren no obstante el alambre no galvanizado, pero entónces le dan mayor diámetro en compensacion de la capa de zinc.

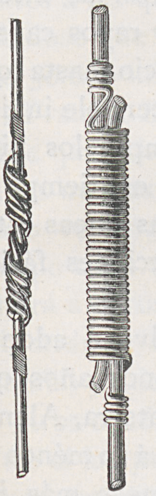


Fig. 324.—Empalmes de los hilos telegráficos

El modo de empalmar los extremos de los alambres que constituyen la línea entra por mucho en su buena conduccion eléctrica. En la fig. 324 representamos dos clases de empalmes. Tambien se usan manguitos de hierro, en los que se introducen, comprimen y aplanan las puntas de los alambres, echándoles en seguida soldadura de estaño por la abertura del manguito. Este sistema da buenos resultados, tanto por lo que hace al contacto como á la solidez de las junturas.

Los postes de suspension de madera de pino (1), inyectados de sulfato de cobre, son aisladores cuando están secos. Mas para impedir la pérdida de electricidad cuando el tiempo está húmedo ó lluvioso, no se cuelga el alambre directamente en los postes, sino de aisladores de vidrio ó de porcelana, y á veces de asperon ó de cautchuc endurecido. En la figura 325 se ve cómo se colocan estos aisladores en los postes, y cómo sostienen los alambres, ya en las partes rectas de la línea, ó bien en los puntos en que describe bruscas curvas y requiere una disposicion particular (aisladores de retencion) para evitar los efectos de traccion.

La distancia de poste á poste es por término medio de 100 metros, aunque suele ser menor en las curvas y mayor en los valles, donde los alambres pueden formar vanos de 400 á 500 metros. La altura de cada poste, de 8 á 10 metros, es mayor cuando la línea ha de cruzar

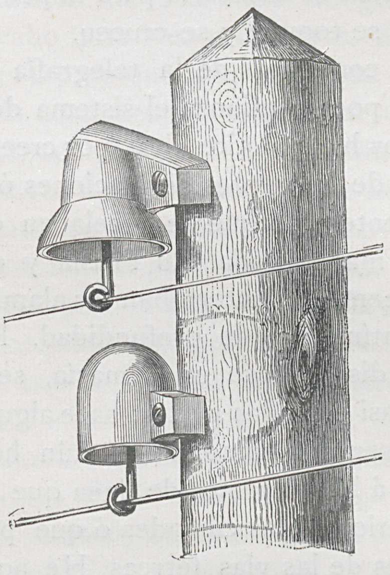


Fig. 325.—Poste y aisladores de suspension

un rio, una carretera, etc. En las ciudades se fijan los aisladores de porcelana en palomillas de madera empotradas en las paredes de los edificios y á veces en montantes sobre los tejados; pero de algunos años á esta parte se ha creido más conveniente reemplazar los hilos aéreos por hilos subterráneos, que se instalan tambien en las partes húmedas del trayecto, por ejemplo, en los túneles.

Cada poste sostiene por lo comun muchos hilos, que se sujetan á intervalos de 25 á 30

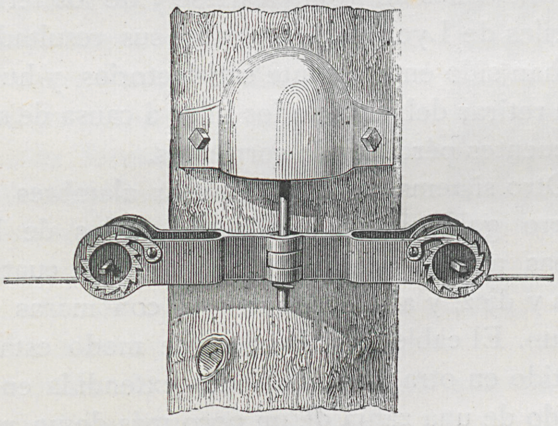


Fig. 326.—Tensor

centímetros, alternándolos á uno y otro lado para contrabalancear los efectos de traccion que pudieran derribar el poste. De kilómetro en kilómetro (á lo ménos en Francia) se ponen *tensores*, aislados del mismo modo, esto es,

(1) En la India, en Australia y en la América del Sur, en donde la madera dura poco á causa de los daños que en ella causan los insectos, se usan con frecuencia postes de hierro.

suspendiéndolos de aisladores de porcelana; la placa de hierro que reune los dos trinquetes es la que en este caso sirve para reunir eléctricamente las dos porciones del hilo (fig. 326). Esta tension es necesaria para impedir que los alambres se toquen y se crucen.

En los comienzos de la telegrafía eléctrica, inspiraba poca confianza el sistema de suspension de los hilos al aire libre, por creerlo sujeto á causas de frecuentes derivaciones ó pérdidas de corriente y porque se recelaban continuas averías á mano airada. En Prusia y en Rusia especialmente, se enterraban los alambres á 50 ó 60 centímetros de profundidad. Pero este sistema, dispendioso en demasía, se ha desechado casi en todas partes; hace algunos años estaba reservado como lo está aún hoy generalmente á los trayectos de línea que penetran en el interior de las ciudades ó que pasan por los túneles de las vías férreas. Hé aquí cómo se disponian en tal caso los diferentes conductores.

Los hilos eran de cobre, cubiertos de una capa de guttapercha y reunidos de modo que formaban un cable recubierto á su vez de cáñamo embreado. Colocábase este cable dentro de un tubo de hierro, de madera creosotada ó de plomo, que se sepultaba á la profundidad máxima de un metro, sobre una capa de arena ó de tierra cribada. Tal era la línea subterránea que enlazaba la administracion central de telégrafos de Paris, situada en el Luxemburgo, con las estaciones de Montparnasse y de los ferrocarriles de Lyon y de Orleans: sus resultados no han sido enteramente satisfactorios, y hubo que retirar del servicio los hilos á causa de sus frecuentes pérdidas de corrientes.

Otro sistema consistia en usar alambres de hierro galvanizado semejantes á los de las líneas aéreas, reunidos en grupos de cuatro, seis y diez, y aislados entre sí con masas de betun. El cable formado de este modo estaba metido en otra masa de betun extendida en el fondo de una zanja de un poco más de un metro de profundidad. Este procedimiento ha dado excelentes resultados, pero las zanjas deben estar resguardadas de las filtraciones del gas que á la larga alteran el betun.

En los túneles se colgaban los hilos de la bóveda, pero preservándolos de la humedad con una capa de guttapercha que los reunia formando un solo cable; háse reconocido sin embargo, que la cubierta aisladora se altera muy pronto por efecto de la accion de los agentes atmosféricos.

Segun acabamos de decir, las líneas telegráficas subterráneas eran, hasta hace pocos años, una excepcion en la red cada vez más dilatada de la telegrafía eléctrica general. Pero precisamente, á medida que aumentan las necesidades del servicio, se sienten más y más los inconvenientes de las líneas aéreas. Estos inconvenientes son graves: las influencias de la electricidad atmosférica en los hilos producen de vez en cuando, por ejemplo, en los temporales, perturbaciones que imposibilitan la marcha regular de las comunicaciones: las intemperies, vientos, heladas, nieves y rayos causan averías que interrumpen el servicio hasta que quedan remediadas. Durante el terrible invierno de 1879, el peso del hielo rompió los hilos en muchos puntos. Por último, en tiempo de guerra ó de contiendas civiles, las líneas están expuestas á violencias y destrucciones fáciles de llevar á cabo.

Por todas estas causas se vuelve á adoptar el sistema primitivo, y hace algunos años que las grandes potencias, como Inglaterra, Alemania y Francia, van sustituyendo, á lo ménos en los grandes trayectos y en las líneas más importantes, las subterráneas á las aéreas. No podemos entrar en detalles acerca de los procedimientos técnicos empleados para la colocacion de cables subterráneos, operacion que, por otra parte, se relaciona indirectamente con nuestro objeto; por lo cual nos limitaremos á apuntar algunos datos sobre la situacion actual de esta costosa sustitucion.

«En estos últimos cuatro años Alemania y Francia han entrado resueltamente en esta vía; añadiremos que la Gran Bretaña habia hecho en 1873 un ensayo de esta clase construyendo una línea de 1,207 kilómetros; cuya prueba no salió bien, puesto que á los seis años hubo que reemplazar dicha línea subterránea por otra aérea. En 1876 se hizo una nueva prueba en Alemania, tendiéndose entre Berlin y Halle, ó sea en un trayecto de 193 kilómetros, un cable del tipo que se queria adoptar; habiendo parecido satisfactorios los resultados, se construye-

ron otras líneas, y en 1.° de enero de 1881 habia 4,000 kilómetros de líneas enteramente terminadas. En dicha época, Berlin estaba en comunicacion con Maguncia por Halle, Cassel y Francfort del Mein; con Colonia por Magdeburgo, Brunswick, Hanover, Minden, Munster, Wesel y Dusseldorf; con Hamburgo y con Kiel. Hay una línea de Francfort del Mein á Estrasburgo por Darmstadt, Mannheim, Carlsruhe, Rastadt y Kehl; y otra de Colonia á Metz por Coblenza y Tréveris. Por último, Metz y Estrasburgo están tambien en comunicacion subterránea.

»Hácia la misma fecha se habian construido otros ramales de menor importancia, habiendo en ejecucion ó en proyecto varias líneas semejantes á las que dejamos mencionadas, y anunciándose que la red completa tendrá á lo ménos 30,000 kilómetros.

»Francia ha emprendido este trabajo más tarde que Alemania; pero la activa ejecucion de las nuevas líneas permitirá acabarlas en un plazo relativamente breve: de aquí á poco tiempo cada una de las grandes vías férreas tendrá á corta distancia otra línea telegráfica subterránea que seguirá el mismo trayecto general; y además se instalarán del propio modo otros conductores para enlazar directamente entre sí las principales ciudades de estas primeras arterias, y será teóricamente imposible una interrupcion de comunicaciones telegráficas como la del invierno de 1879-1880.» (*La Luz eléctrica,* junio de 1882.)

II

LÍNEAS TELEGRÁFICAS SUBMARINAS.—CABLES TRANSOCÉANICOS

La trasmision de las corrientes eléctricas y de los signos que constituyen la telegrafía eléctrica, trasmision que segun acabamos de ver, se efectúa en el aire y en el seno de la tierra por medio de alambres aislados, ¿es posible en el agua?

Tan interesante problema resolvióse apénas planteado. En 1839, O'Shaughnessy enlazaba eléctricamente las dos orillas del Hugly, en la India, con un alambre aislado y sumergido en las aguas del rio. Al año siguiente, Wheatstone, cuyo nombre va unido á cada fase progresiva de la telegrafía eléctrica, propuso enlazar á Douvres y Calais con un cable, proyecto que no se realizó hasta 1850, en cuya época el ingeniero francés Brett tendió un alambre de cobre cubierto de una capa de guttapercha entre el cabo Gris-Nez y Douvres. Este cable fué roto (1), pero quedó demostrada la posibilidad de la comunicacion telegráfica submarina, y en 1851 se estableció definitivamente otro cable á través del estrecho. Aún se necesitaron quince años de pruebas, de tentativas más ó ménos afortunadas para resolver por completo el problema; pero el feliz éxito de la colocacion y funcionamiento del inmenso cable trasatlántico que une á Europa con América, entre Irlanda y Terranova, fué el punto de partida de un desarrollo asombroso de la red telegráfica universal. En la actualidad el globo terráqueo está surcado, no sólo á través de los continentes, sino en la profundidad de los mares, de hilos que trasmiten á todas partes con la rapidez del rayo los despachos oficiales y privados de todas las naciones civilizadas.

Entremos en algunos detalles acerca de las líneas submarinas, de la estructura de los cables que contienen los hilos y del método de inmersion adoptado.

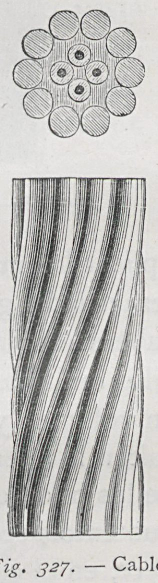


Fig. 327. — Cable submarino de varios hilos

El alambre conductor de un cable submarino está cubierto de muchas envolventes que tienen por objeto el aislarle, ó bien el de preservarle de cualquier avería. Consiste, bien en un alambre de cobre de uno ó dos milímetros de diámetro, ó bien en una cuerda formada de cinco ó seis hilos muy finos retorcidos en espiral; hoy se da la preferencia á esta última disposicion porque en caso de avería ó de rotura de los hilos interiores, basta que uno ó dos de estos resistan para que no se interrumpa la comunicacion.

Lo importante es que los hilos estén rodeados de una capa de guttapercha, siendo por lo

(1) Pasaron algunos despachos, unos 400; pero de pronto el hilo cesó de funcionar. Un pescador lo habia sacado en sus redes, y cortando un trozo de él, se apresuró á llevarlo triunfalmente á Boulogne para enseñar aquel raro producto marino de centro dorado.

general cuatro de estas capas las que se ponen, de un espesor total de 3 á 4 milímetros. La guttapercha, además de ser una excelente materia aisladora, casi no se altera en el agua del mar. En un principio no se ponia á los cables otra envolvente, pero en breve se reconoció la necesidad de preservarla de cualquier avería, así es que hoy se la rodea de una capa de cáñamo embreado, y además de una serie de alambres galvanizados enrollados en espiral. En los adjuntos grabados reproducimos, en su tamaño natural, varios de los cables que funcionan en diferentes líneas telegráficas submarinas. Como se ve, estos cables son de distinto grueso, pero su fabricacion es casi idéntica; sin embargo, en los antiguos cables se ponian varios hilos separados (fig. 328) á fin de multiplicar los medios de comunicacion, mas se ha renunciado generalmente á este método por haberse reconocido los inconvenientes de los hilos múltiples, pues aparte de que requieren un volúmen y un peso considerables, que dificultan la operacion de tenderlos, la proximidad de los hilos engendra corrientes de induccion que entorpecen la trasmision. Por esto se prefiere, en el caso de que el mucho servicio lo exija, tender varios cables entre las estaciones extremas, con tanto mayor motivo cuanto que si se inutiliza uno, siempre queda otro disponible.

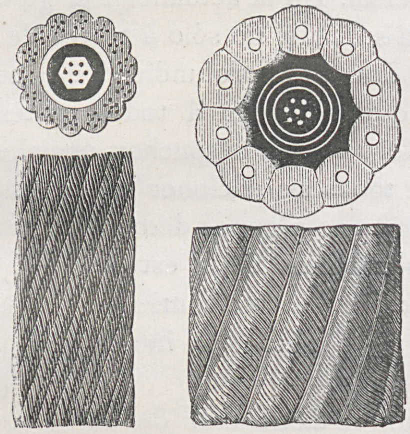


Fig. 328.—Cables submarinos: vista exterior y corte

El cable de una misma línea suele ser de distinto grueso, segun la parte de esta que atraviese. Junto á la costa, donde hay poca profundidad y donde el cable está expuesto á los accidentes que proceden de la agitacion de las olas durante los temporales, ó de tropezar en ellos las anclas de los buques ó las redes de los pescadores, el diámetro del cable es mayor; la envolvente metálica se compone de alambres gruesos revestidos de una composicion silícea la cual tiene por objeto aumentar la resistencia al desgaste causado por el roce contra las rocas. Tal es el *cable de costa.* Para las profundidades medias se adopta un cable de menor diámetro, tanto para el conjunto como para la envolvente metálica. Finalmente, para la parte destinada á su inmersion en alta mar, en las aguas más profundas, se adopta el grueso mínimum, pues allí el cable no está expuesto á las agitaciones de la superficie, y la disminucion de su peso facilita su colocacion.

Este peso es efectivamente enorme en los cables de las líneas submarinas un tanto largas. El de Douvres á Calais, tendido en 1851, pesaba más de 180,000 kilógramos y sólo tenia 41 kilómetros de longitud. Los cables trasatlánticos que enlazan á Valentia y á Brest con América pesaban, el primero 865 kilógramos por kilómetro y el segundo 836, ó lo que es igual 4,300 toneladas de peso total el uno y cerca de 4,000 el otro, valuando sólo la porcion comprendida entre Brest y Saint Pierre Miquelon. Sólo un buque era capaz de embarcar semejante carga, el coloso de los mares, el *Gran Oriental.* Pero el inconveniente de semejante peso es sobre todo grave, cuando la colocacion se efectúa en las grandes profundidades, cuando la porcion de cable en suspension se desenrolla á 2,500 brazas (4^{kil},06) de profundidad. Mas como no hemos de describir aquí las peripecias de la operacion de tender un largo cable submarino, volveremos á ocuparnos del aspecto físico del asunto.

Antes de haberse logrado el resultado apetecido, muchas personas dudaban de la posibilidad de trasmitir signos submarinos á grandes distancias, por ejemplo, del continente europeo al americano á través del Atlántico, si bien no les asustaba tanto la distancia misma como el desconocimiento de las circunstancias que podrian acompañar á un cable sumergido á profundidades enormes, y en un elemento eminentemente conductor como es el agua de mar. ¿Qué resultados daria el hilo cuando se emitieran por él las corrientes eléctricas? ¿Seria suficiente su aislamiento? ¿Lo seria la fuerza

de la corriente para llegar sin alteracion de uno á otro extremo de la línea sin relais? Estos temores, formulados vagamente en un principio, parecieron por un momento justificados cuando, en agosto de 1858 y despues de trasmitirse algunos despachos entre los Estados Unidos é Irlanda, se vió que en los aparatos iban saliendo poco á poco signos confusos hasta que cesaron de funcionar, ignorándose al pronto la causa de la interrupcion.

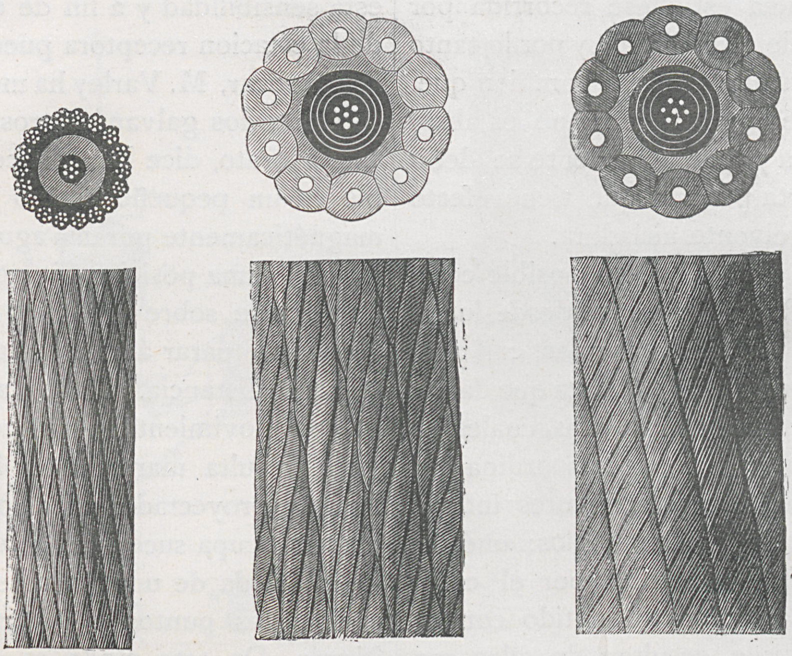


Fig. 329.—Cables trasatlánticos de la línea de Valentia á Terranova

Hubo pues que emprender, ó mejor dicho que empezar de nuevo el estudio práctico y teórico de la trasmision de corrientes por un hilo aislado y sumergido, de modo que se conocieran los obstáculos y se pudieran vencer con medios eficaces. Varios sabios acometieron esta tarea, entre ellos Faraday, Wheatstone, Guillemin, Gaugain y Siemens, y todos ellos contribuyeron á la solucion de tan importante cuestion.

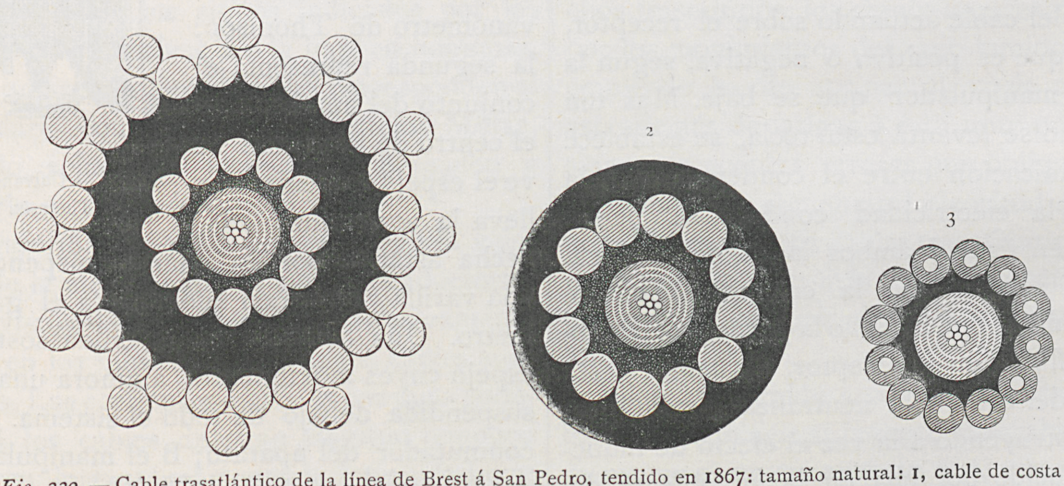


Fig. 330. — Cable trasatlántico de la línea de Brest á San Pedro, tendido en 1867: tamaño natural: 1, cable de costa; 2, cable de profundidades medias; 3, cable de fondo ó de grandes profundidades

Reconocióse entónces que cuando una corriente eléctrica recorre un cable sumergido en el agua del mar, se trasforma éste en un condensador análogo á la botella de Leyden: la carga eléctrica del hilo de línea interior actúa sobre los conductores exteriores, armadura metálica y agua del mar, al través de la envolvente aisladora, compuesta de guttapercha. Las corrientes inducidas así engendradas por la influencia de la corriente emitida á la línea por

los aparatos persisten algun tiempo despues de la rotura del circuito, de suerte que no es posible emitir una nueva corriente hasta que trascurre este tiempo, pues de lo contrario ocurririan las cosas como si la línea estuviese recorrida por un flujo continuo de electricidad, y por lo tanto seria imposible trasmitir signos. Tambien quedó demostrado que la guttapercha no es absolutamente aisladora y que la corriente se debilita á causa de cierta pérdida que tiene efecto al través de la envolvente aisladora.

Conocidas estas causas, fué ya posible combatir sus efectos. Reemplazáronse desde luégo los electromotores voltaicos, las pilas, con aparatos de induccion magneto-eléctrica que daban corrientes de mayor intensidad las cuales se propagan con más rapidez que las ordinarias. Además para neutralizar las corrientes inducidas se han discurrido varios medios: uno, de Wheatstone, consiste en emitir por el cable alternativamente corrientes de sentido contrario; las inducidas que resultan de ellas son asimismo de sentido contrario, de suerte que se destruyen ó neutralizan. M. Varley ha interpuesto entre el manipulador y la línea un condensador de ancha superficie (40,000 piés cuadrados ingleses). Hé aquí cómo obra este condensador, segun Du Moncel, para neutralizar las corrientes inducidas: «En el momento del contacto del manipulador (que es un simple invertidor de corriente, de teclas), pasa una corriente por el cable actuando sobre el receptor, corriente que es positiva ó negativa, segun la tecla del manipulador que se baje. Mas tan luégo como se levanta esta tecla, se establece una comunicacion entre el condensador y la tierra, y la electricidad condensada puede perderse en ésta á ambos lados de la línea. Entónces sucede que la carga de nombre contrario de la que ha dado la primera corriente que ha influido en el receptor, encuentra á esta al través del cable y la neutraliza instantáneamente destruyendo á la vez el efecto de induccion producido por ella en la envolvente del cable. De este modo, el cable se halla reintegrado, por decirlo así, al estado neutro, pudiendo ya suministrar inmediatamente un nuevo signo.»

Hé aquí cuál es el sistema adoptado en la gran línea trasatlántica de Brest á San Pedro. El aparato telegráfico es un telégrafo de aguja; habiéndose tenido en cuenta para esta eleccion la gran sensibilidad de los galvanómetros, cuyas agujas oscilan por poco intensa que sea la corriente, á pesar de lo cual, para aumentar esta sensibilidad y á fin de que los empleados de la estacion receptora puedan leer los signos sin titubear, M. Varley ha modificado del modo siguiente los galvanómetros de Thomson. «En este aparato, dice Du Moncel, el órgano sensible es un pequeño espejo lenticular dirigido magnéticamente por una aguja imantada, y ésta atraida á una posicion fija por un electro-iman. Proyéctase sobre el espejo un rayo luminoso que va á parar á una pantalla situada á ocho piés de distancia. Con esta amplificacion, el menor movimiento, imperceptible á la simple vista, resulta marcado por la desviacion de la imágen proyectada, y las posiciones que esta imágen ocupa sucesivamente, á la derecha ó á la izquierda de una línea de mira fija, pueden indicar los puntos y las rayas del alfabeto Morse. De este modo se obtienen todas las combinaciones necesarias para la interpretacion de los despachos, que se leen en una pantalla puesta en una cámara oscura.»

Las figuras 331 y 332 representan el aparato telegráfico del cable trasatlántico francés tal como se halla instalado en la estacion de Brest. La primera es un corte del galvanómetro de Thomson; la segunda representa el conjunto del aparato. En el centro de la bobina se ve el espejito circular que lleva la aguja imantada, hecha astática por un iman E suspendido de una varilla vertical en que remata el galvanómetro. Una hebra de seda cruda sostiene el espejo cuyos movimientos aminora una paleta suspendida debajo de todo el sistema. C es el conmutador del aparato; B el manipulador de doble contacto, análogo al del Morse, que emite alternativamente corrientes positivas y negativas; á estas corresponden las desviaciones á la izquierda de la aguja y del espejo; aquellas hacen desviar la aguja á la derecha. F es una cámara oscura que contiene la escala en la cual se forman las imágenes de la llama de la lámpa-

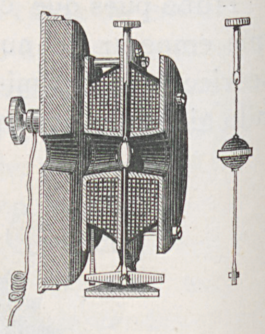


Fig. 331. — Galvanómetro de Thomson

ra situada detrás. El haz luminoso atraviesa un agujero practicado en la pared de la cámara, sigue el camino R, da en el espejo y se refleja por R′ en el cero de la division cuando el espejo está inmóvil. A cada paso de la corriente trasmitida por el cable, el espejo oscila á derecha ó izquierda, como se acaba de ver, y la imágen oscila horizontalmente á una ú otra

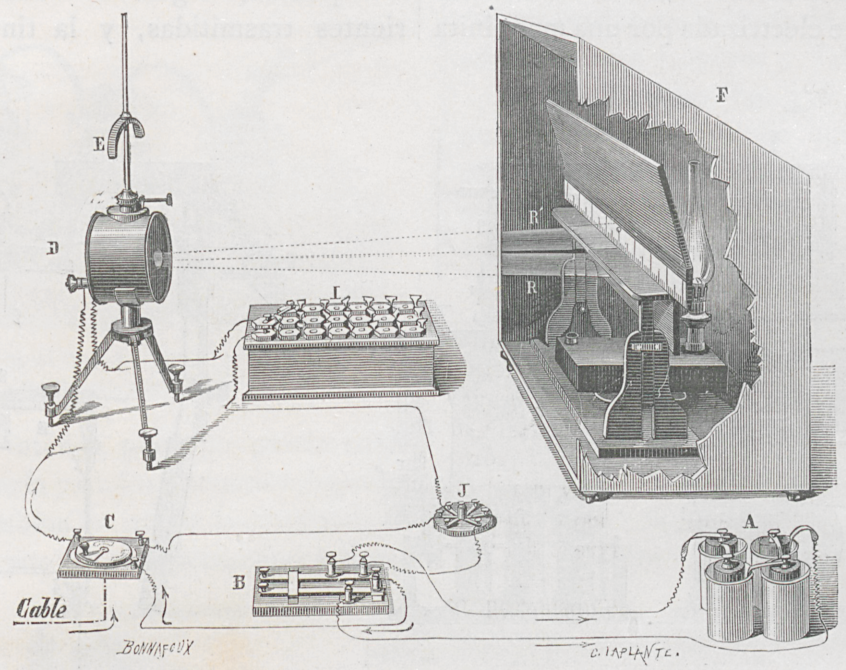


Fig. 332.—Aparatos telegráficos del cable de Brest á Saint Pierre Miquelon

parte del cero. A es la pila formada por 20 elementos Daniell; y en I se establece la comunicacion del hilo con tierra.

No bien recibe el empleado de la estacion aviso de que se trasmite un despacho, vuelve su conmutador para la recepcion; y en seguida fija la vista en la escala de la cámara oscura, anotando todos los signos indicados por las oscilaciones sucesivas de la imágen luminosa, signos que segun hemos dicho corresponden al vocabulario convencional del sistema Morse, restando solamente traducir el despacho y escribirlo en caractéres ordinarios.

Al trascribir las cifras que expresan la velocidad de la electricidad en varios conductores, hemos visto que esta velocidad es relativamente escasa en los hilos de cobre de los cables submarinos. Las corrientes emitidas por pilas poderosas á los cables de gran longitud tampoco adquieren instantáneamente la intensidad que corresponde á la fuerza electromotriz y á la resistencia del circuito; sino que la cobran gradualmente, así es que de Valentia á Terranova son menester más de tres segundos para que la corriente llegue á su máximum de intensidad. Estos retrasos, unidos á la influencia de unas corrientes sobre otras, producen en los signos irregularidades que han impedido hasta ahora usar aparatos como el Morse, y por ello se ha tenido que recurrir al galvanómetro de espejo.

Pero el ingenioso sistema de sir W. Thomson tiene el inconveniente de todos los sistemas que no conservan rastro alguno de los despachos trasmitidos; los signos fugaces producidos por los movimientos del rayo luminoso, que el empleado ha de atrapar al vuelo por decirlo así, además de fatigar á éste muy pronto, ocasionan frecuentes errores que obligan á pedir repeticiones y aumentan la lentitud de los signos. Así es que los cables trasatlánticos apénas permiten expedir más de diez y seis palabras por minuto, es decir, de 40 á 50 despachos por hora.

Háse conseguido vencer esta dificultad, debiéndose tambien al inventor del galvanómetro de espejo el nuevo aparato que, con el nombre de *sifon recorder* (figs. 333 y 334), permite trasformar los signos fugitivos del galvanómetro en signos trazados en un papel-cinta, lográndose así leer y rectificar el despacho.

El sifon recorder toma su nombre del tubo capilar de cristal, doblemente encorvado en

forma de sifon, cuyo brazo menor se introduce en un vaso lleno de una solucion de azul de anilina. La punta del otro brazo está separada algunos milímetros de la cinta de papel que se desenrolla continuamente delante de ella. La tinta está siempre electrizada por una maquinita de Holtz. Durante la trasmision ó recepcion de un despacho, el tubo del sifon recibe, por medio de hebras de seda cruda convenientemente dispuestas, movimientos á derecha ó á izquierda, segun el sentido de las corrientes trasmitidas, y la tinta que se escapa de su punta cae sobre la cinta de papel, trazando en ella con sus finas y numerosas gotitas sinuosidades cuyo número y posicion forman los caractéres convencionales de las letras ó signos.

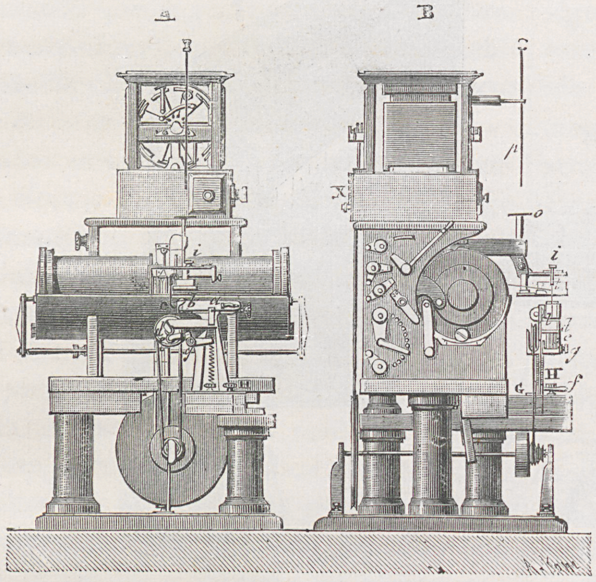


Fig. 333.—Sifon recorder de W. Thomson

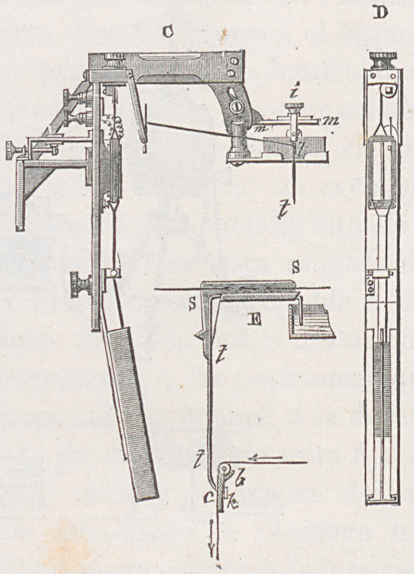


Fig. 334.—Detalles de la suspension del sifon

El motor de las hebras de seda del tubo es una bobina muy ligera suspendida de hilos verticales entre los dos polos de un electro-iman.

Segun el sentido de la corriente que se emite á la línea y que atraviesa la bobina, ésta se mueve á la derecha ó á la izquierda en el campo magnético del electro-iman, y segun acabamos de decir, comunica su movimiento al sifon.

Una pila especial anima al electro-iman y mueve la maquinita de Holtz que sirve para electrizar la tinta de anilina á la vez que desenrollar sin parar la cinta de papel.

La trasmision no es más rápida con el sifon recorder que con el galvanómetro de espejo solo; pero tiene la gran ventaja de conservar huella de los despachos trasmitidos y recibidos. El aparato Thomson, montado como duplex, llega á cursar de 40 á 45 palabras por minuto, más del doble de lo que se cursaba ántes por los cables submarinos.

III

LAS PILAS USADAS EN TELEGRAFÍA

Tanto los diferentes sistemas de telégrafos que hemos descrito como los que aún tenemos que mencionar, se pueden dividir, por lo que respecta al manantial electromotriz, en dos clases: la primera comprende los aparatos que funcionan con una pila de corriente constante, y la segunda los que tienen su principio en las máquinas de induccion magneto-eléctrica.

Hemos consagrado á las pilas un capítulo entero de la primera parte de este tomo. Conviene sin embargo tratar nuevamente de este asunto desde el punto de vista exclusivo de la telegrafía.

Las antiguas pilas de Bunsen y de Daniell han sido las primeras usadas, y la segunda lo es aún generalmente en Francia, al paso que la pila de Bunsen sólo se usa en algunas líneas americanas. En Inglaterra se emplean para la telegrafía eléctrica pilas de artesa, cuyos com-

partimientos contienen arena impregnada de una solucion de clorhidrato de amoníaco ó de agua acidulada, así como una plancha de zinc amalgamada y otra de cobre. Esta pila da una

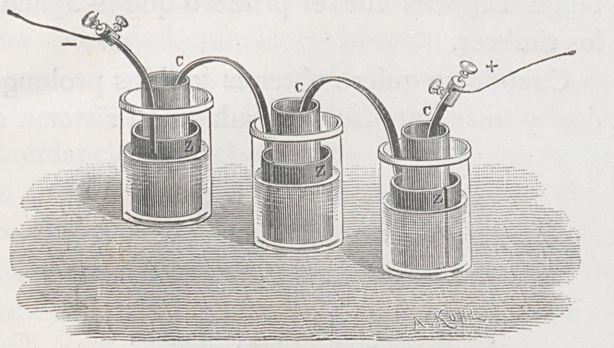
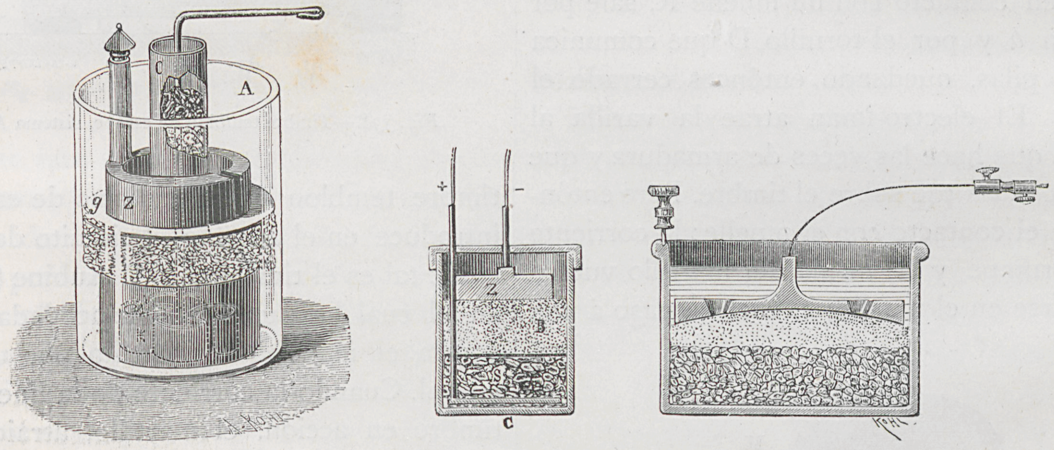


Fig. 335.—Pila de Daniell empleada en la telegrafía (modelo de Breguet)

corriente poco intensa, pero que puede convenir con preferencia para los sistemas telegráficos de agujas. Tambien se usa en Inglaterra la pila Thomson descrita ya anteriormente, y que en realidad es una modificacion del elemento Daniell. Las pilas Siemens y Halske (tipo Daniell modificado, fig. 336, 1) tienen gran fuerza electromotriz y por lo mismo son á propósito para la explotacion de las grandes líneas, siendo las únicas usadas en la línea de la Compañía indo-europea entre Lóndres y Teheran.

La pila Minotto (fig. 336, 2, 3), muy portátil por cuanto no contiene líquido (reemplazado con aserrin húmedo), se emplea exclusivamente en las estaciones lejanas, en las Indias inglesas, en las líneas de cables submarinas.

Las pilas del tipo Daniell son de fácil entretenimiento: basta echar líquido de vez en cuando, para reparar las pérdidas ocasionadas por la evaporacion, ya en el vaso de cristal que contiene el agua acidulada, ó bien en el poroso que contiene la solucion de sulfato de cobre; y cuidar luégo de que siempre haya en el diafragma la cantidad suficiente de cristales de dicho



1 2 3

Fig. 336.—Pilas empleadas en la telegrafía: 1, pila Siemens-Halske; 2, pila Minotto; 3, otra forma de la misma pila

sulfato. Por último, hay que quitar de tiempo en tiempo las eflorescencias salinas que se depositan en las paredes de los bajos y cambiar las planchas de zinc cuando han perdido la amalgama. La constancia de la corriente en el elemento Daniell, que ha podido funcionar casi tres meses sin entretenimiento en una línea de tanto servicio y tan larga como la de Paris á Berlin, hace que sea un buen electromotor. El número de elementos Daniell empleados para distancias de 100, 200, 400 kilómetros es de 30, 50 y 70.

En Francia se usan tambien las pilas de Callaud, Leclanché y Maiche, y en Alemania la de Meidinger. Hemos descrito ya la mayor parte de estos electromotores. Por lo demás el número de aparatos electro-motores inventados en Francia y en el extranjero para el servicio de la telegrafía eléctrica es tan grande, que nos faltaria espacio para enumerarlos, cuanto más para describirlos. Muchos de ellos son notables por esta ó la otra cualidad particular y han dado buenos resultados. Por lo demás fácilmente se comprende que su éxito depende de los aparatos telegráficos á los que se destina la pila, y que exigen más ó ménos fuerza electromotriz.

Digamos para terminar que hay lugar á distinguir entre las pilas de línea que emiten corrientes á grandes distancias, y las locales, que tienen únicamente por objeto el servicio de los aparatos de la estacion; estas últimas, cuyo circuito es muy corto, y no han de suministrar

electricidad á la línea, se componen de un corto número de elementos cuya fuerza electromotriz total es naturalmente muy inferior á la de las pilas de línea.

IV

LOS TIMBRES

Hablemos ahora de los timbres, cuya mision hemos indicado al describir los aparatos telegráficos, sin detallar el mecanismo que los hace funcionar. Los sistemas de timbres son por lo ménos tan numerosos como dichos aparatos. Limitémonos á hacer comprender uno ó dos de estos sistemas.

El más sencillo y más comunmente adoptado en las líneas telegráficas es el que representa la figura 337. Un electro-iman recibe en su carrete la corriente enviada al tornillo A, y de allí, pasando por el mango del martillo B M. puesto en contacto con un muelle R, sale por el boton *b* y por el tornillo D que comunica con las pilas, quedando entónces cerrado el circuito. El electro-iman atrae la varilla al martillo que hace las veces de armadura y que por esta causa cae sobre el timbre. Pero entónces cesa el contacto con el muelle; la corriente se interrumpe y la varilla del martillo vuelve á apoyarse en el muelle; lo cual da paso á una

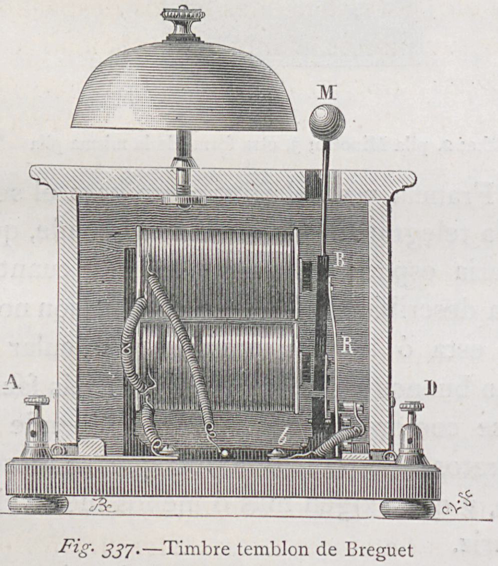


Fig. 337.—Timbre temblon de Breguet

nueva corriente, y así sucesivamente miéntras el circuito pasa por el aparato, es decir, y segun hemos visto al describir el telégrafo Breguet de cuadrantes, miéntras el conmutador está sobre el boton correspondiente.

De aquí resulta una serie de choques repetidos y frecuentes, por cuya razon se ha dado el nombre de *temblon* al aparato. Neef discurrió el principio del mecanismo, y el electricista belga Lippens fué el primero que lo aplicó á los timbres.

Cuando se quiere obtener sonidos prolongados y más intensos, se adapta al sistema de

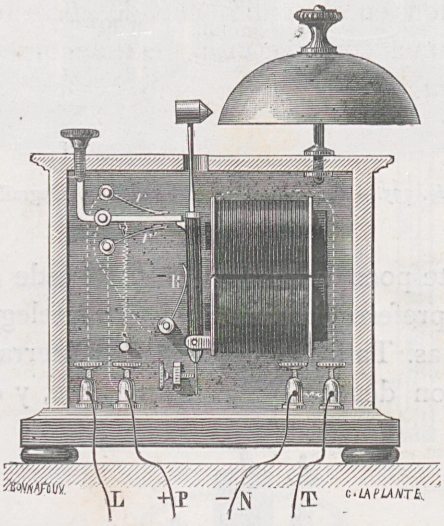


Fig. 338.—Timbre temblon de escape, sistema Aubine

timbre temblon un mecanismo de escape que introduce en el aparato el circuito de una pila local: tal es el timbre de M. Aubine (fig. 338), en el cual hay una palanca acodada retenida contra el mango del martillo por un diente lateral. Cuando la corriente de la línea pone el timbre en accion, el martillo, atraido por el electro-iman, suelta la palanca que cae sobre el muelle *r'*, abandonando el muelle *r*. Fácilmente se comprende que entónces se interrumpe la corriente de la línea, al paso que se cierra el circuito de la pila local P N. El timbre resulta así puesto en actividad por una corriente más enérgica que dura hasta que el empleado vuelve á poner en su sitio la palanca de escape, lo cual se hace con un boton exterior en que ésta remata, y que se ve en la parte exterior de la caja.

Hase dado en las minas á los timbres eléctricos una aplicacion del mayor interés para la vida de los mineros. Con un aparato puesto en comunicacion eléctrica con una pila y un timbre se puede indicar automáticamente el menor indicio de gas grisú, cuando su proporcion en el aire es bastante grande para ofrecer algun

peligro. Hé aquí en qué principio se basa este aparato ideado por M. Ansell.

Es sabido que si dos gases de densidad desigual están separados por una membrana porosa, cada uno de ellos atravesará la membrana con una velocidad que le es propia. Al cabo de cierto tiempo se mezclarán; pero como el gas ménos denso atraviesa el obstáculo en mayor abundancia que el otro, resultará un aumento de presion en el medio ocupado por este último. Veamos cómo se utiliza este fenómeno en el *indicador del grisú* (fig. 339).

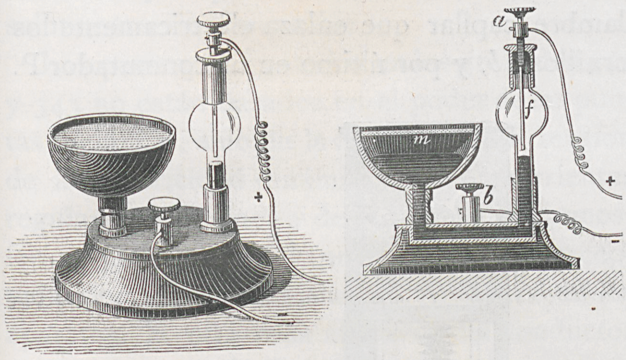


Fig. 339.—Indicador del grisú de M. Ansell

Consiste éste en un tubo encorvado con uno de sus brazos terminado á modo de embudo, ó en forma de vaso tapado con una placa *m* de sustancia porosa. El tubo está lleno de mercurio, cuyo nivel es el mismo en cada brazo en las circunstancias ordinarias, es decir, cuando el aire de la galería es puro. Pero si alrededor del aparato se desprende el hidrógeno carbonado, penetrando este gas explosivo por la placa porosa, aumentará la presion en este brazo del tubo y repelerá el mercurio al otro brazo. Elevándose el líquido por tal manera, pone en contacto por medio de una varilla metálica f, los electrodos positivo y negativo *a b* de una pila. La corriente pasa, y hace resonar un timbre ó envia una señal telegráfica cualquiera al interior ó al exterior de la mina.

El mismo aparato puede servir para revelar la presencia de un gas más denso que el aire, como el ácido carbónico y el sulfhídrico, para lo cual basta establecer el contacto en la parte del tubo situada debajo de la placa porosa.

Se ha ensayado con éxito el indicador del grisú de M. Ansell en varias minas inglesas y francesas.

V

LOS PARARAYOS

La superioridad de la telegrafía eléctrica sobre la aérea estriba principalmente en la rapidez con que se pueden trasmitir los despachos, cualquiera que sea la distancia que medie entre las estaciones extremas; bastan unos cuantos segundos, algunos minutos á lo sumo para que el dócil agente franquee millares de kilómetros. Pero no es este el único motivo que ha inducido á desechar por añejo un medio de correspondencia que cuarenta años atrás parecia una maravilla de celeridad; hay que agregar á él la constancia, la continuidad casi absoluta del funcionamiento de los aparatos, con la única condicion de mantener las pilas en buen estado así como la línea y los mecanismos trasmitidor y receptor. El telégrafo óptico de Chappe sólo funcionaba de dia y estando el tiempo sereno: ¡cuántas veces dejaba de llegar en parte un despacho á su destino, llevando esta indicacion: *Interrumpido por la niebla... ó por la noche!*

Nada de esto es de temer con el telégrafo eléctrico, que puede funcionar todo el año, dia y noche. Debemos, sin embargo, confesar que á veces se intercepta la trasmision de las corrientes eléctricas. Durante las tormentas, se electrizan parcialmente los hilos de línea, ocasionando perturbaciones en los despachos que vienen de puntos lejanos del fenómeno accidental. Las auroras boreales producen efectos análogos é irregularidades que todavía no se han podido remediar con seguridad.

Estas perturbaciones pueden ser bastante fuertes para causar daños, ya en la línea ó bien en las estaciones y aparatos. En las tormentas de alguna violencia, el rayo puede romper postes y aisladores; se pueden desimantar los imanes y las agujas de las brújulas, lo cual no extrañará al lector, si recuerda los fenómenos electro-magnéticos descritos en la primera parte de este tomo. Por el contrario, las armaduras ó las barras de hierro dulce de los electro-imanes pueden adquirir, en estas circunstancias, una imantacion permanente que las inutiliza para el servicio.

Esto no tiene otro remedio sino la vigilancia de la línea y de los aparatos de la estacion, la verificacion continua de su buen funcionamien-

to, sobre todo en la estacion de las tormentas, ó en el caso en que aparezcan auroras. En los de avería, es preciso reemplazar los objetos rotos ó deteriorados; pero como todo esto está hoy previsto, las líneas bien organizadas poseen en sus estaciones importantes los aparatos de repuesto indispensables; así es que la interrupcion dura poco tiempo.

Hay sin embargo un peligro que se puede precaver, como se ha conseguido eficazmente; el que amenaza á los empleados de las estaciones, á su seguridad y á su vida. Al principio de la telegrafía eléctrica sucedió que entre los objetos metálicos estallaban fuertes chispas; la descarga rompia las piezas, las lanzaba á lo léjos, y heria ó mataba á las personas que se hallaban al paso del flúido. Desde entónces se ha provisto á todas las estaciones de unos sencillos aparatos que tienen por objeto hacer que pase la electricidad tempestuosa al suelo, y poner á salvo á la vez los instrumentos telegráficos y los empleados. Estos *pararayos* son de formas y principios variados. Describamos algunos de los más usados.

El pararayos Breguet, representado en la fig. 340, es sumamente sencillo: consiste en dos placas metálicas dentadas, cuyos dientes están frente á frente; en un tubo que contiene un alambre capilar que enlaza eléctricamente los tornillos *a b*, y por último en un conmutador P.

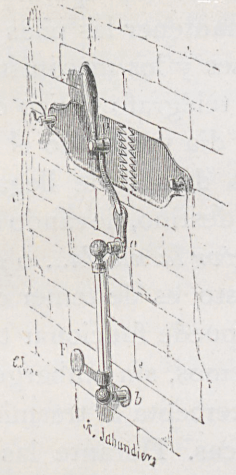


Fig. 340.—Pararayos Breguet

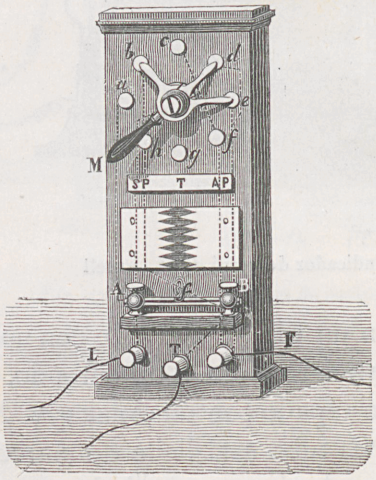


Fig. 341.—Otro pararayos

Cuando el brazo de este último ocupa la posicion indicada en la figura, la corriente de la línea pasa de L á F, y de allí á los aparatos. La electricidad dinámica procedente de la pila no tiene bastante tension para escapar por las puntas de las placas, por lo cual sigue su trayecto ordinario; pero la electricidad atmosférica pasa por las puntas, y de ellas por el hilo T á tierra.

Cuando sobreviene una tormenta algo fuerte, este camino puede ser insuficiente, en cuyo caso la electricidad pasa por el hilo, enrojeciéndolo y hasta fundiéndolo. Pero en este último caso, la interrupcion con la estacion resulta de la fusion misma del hilo, y la electricidad tempestuosa pasa á tierra. Si se ha previsto la tormenta, el empleado pone el brazo del conmutador en el tornillo del hilo de tierra, interrumpiendo toda comunicacion con la estacion.

La figura 341 representa otro sistema de pararayos basado tambien en el poder de las puntas y en el modo cómo circula la electricidad, segun que emane de las corrientes voltaicas ó proceda de una perturbacion atmosférica. El conmutador tiene tres brazos: cuando el de en medio está sobre el boton *d*, como lo indica la figura, la corriente de la línea va directamente á la estacion, de lo cual es fácil darse cuenta siguiendo las líneas de puntos que marcan el enlace eléctrico de las varias partes del aparato. Del tornillo L del hilo de línea la corriente pasa al conmutador y de éste al tornillo F de la mesa sin pasar por el hilo *f*. Cuando se acerca una tormenta, se pone el brazo de en medio en el boton *b*, y entónces la corriente atraviesa las placas de puntas y el hilo ántes de llegar al receptor. Finalmente, si la tormenta es muy fuerte, se pone el brazo del conmutador enfrente de la letra T (*tierra*), con su brazo medio sobre el boton *c*. Todas las corrientes eléctricas

van á parar directamente al suelo, sin tener ninguna comunicacion con los demás aparatos telegráficos, puestos así al abrigo de todo riesgo.

El pararayos Bianchi está tambien basado en el poder de las puntas: en caso de que lleguen á la línea corrientes exteriores, estas pasan por las puntas alineadas en una bola de vidrio alrededor de una esfera metálica que, por un anillo tambien metálico, está en comunicacion constante con el suelo. Haciendo el vacío en la bola de vidrio el paso de la electricidad es más rápido, pero esta precaucion no es absolutamente indispensable.

Los pararayos figurados en los grabados 342 y 343 no están basados en el poder de las puntas metálicas, sino en la desigualdad de tension de la electricidad dinámica ó de las corrientes regulares de la línea y de la electricidad atmosférica. Miéntras que la primera queda interceptada por una placa aisladora y penetra en los aparatos, la otra pasa al través del conductor más ancho, que facilita su propagacion, á pesar de la interposicion del cuerpo aislador. De este modo puede perderse en el suelo, sin causar en los aparatos ninguna perturbacion ni daño alguno.

El pararayos de Siemens y Halske (fig. 342) se compone de una placa de hierro que comunica con la tierra; por encima de ella, tan cerca

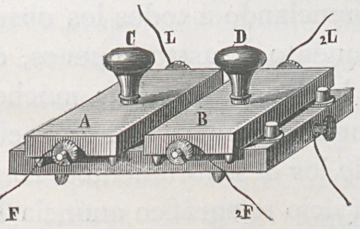


Fig. 342.—Pararayos del sistema Siemens y Halske

como es posible, pero sin que haya contacto metálico, descansan dos placas más pequeñas A y B, unidas por una parte con los hilos de línea LL^2 y por otra con los aparatos por los hilos FF^2. Las corrientes voltaicas no tienen la intensidad suficiente para vencer la resistencia que resulta de la distancia de los conductores y de la placa de tierra; pero, en caso de tormenta, la electricidad atmosférica sigue este último camino, quedando á cubierto de ella los aparatos.

El pararayos adoptado en las líneas belgas (fig. 343) consiste asimismo en unas placas metálicas *pp df*, separadas por una hoja aisladora de papel fino. Los hilos de línea de las dos estaciones colaterales van á parar á L y L′ y los de los aparatos de la estacion á F y F′; T comunica con el boton *b* y con la tierra. En la

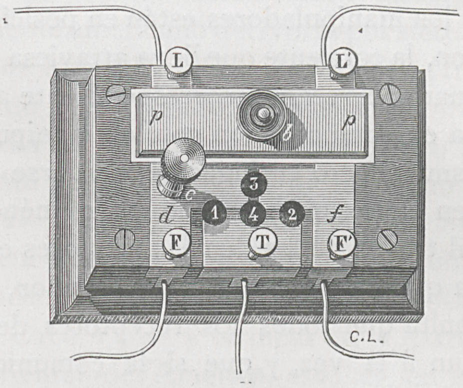


Fig. 343.—Pararayos de las líneas belgas

peana de madera que sostiene las placas hay cuatro agujeros en los que penetra una clavija metálica *c* que pone en comunicacion las distintas piezas del pararayos. En estado normal, la clavija ocupa la posicion marcada en el grabado; entónces las estaciones colaterales comunican con los aparatos de la intermedia, funcionándose libremente á una y otra banda. Si se acerca una tormenta por la derecha se introduce la clavija en el agujero 2, y entónces la electricidad atmosférica se pierde en tierra por la placa y el hilo T. Si la tormenta llega por la izquierda, se pone la clavija en el agujero 1, y por último se la coloca en el 4 en caso de que la tempestad amenace á la vez por ambas bandas. El agujero 3 sirve para establecer la comunicacion directa entre las dos líneas, de suerte que el aparato sirve al mismo tiempo de pararayos y de conmutador.

Para terminar este artículo, indiquemos una causa de perturbacion, que no por ser ménos grave que la de las tormentas, deja de producir en las líneas enojosas irregularidades: tal es la imperfecta comunicacion de los aparatos con la tierra (1). Hé aquí lo que acerca de ello dice un distinguido ingeniero telegrafista:

(1) En los comienzos de la telegrafía, creíase necesario para cerrar el circuito establecer dos hilos diferentes entre dos estaciones; el segundo hilo era el de regreso de la corriente. Pero Steinhell demostró en 1857 que este segundo hilo no era necesario para dar salida á la corriente, puesto que la tierra podia reemplazarlo; sólo que entón.

«Cuando entran en una estacion muchos hilos de línea, basta por lo comun un solo conductor para poner el polo negativo de la pila de línea y todos los receptores de la estacion en comunicacion con tierra. En este caso, cualquier imperfecta comunicacion con el suelo puede ocasionar molestas perturbaciones en la marcha del servicio. Si la estacion recibe, y todos los manipuladores están en posicion de recepcion, la corriente que llega atraviesa como de ordinario, el receptor correspondiente al hilo que está en comunicacion con el manipulador que trasmite; pero en lugar de perderse totalmente en el suelo, retrocede, á lo ménos en parte, al través de los demás receptores é hilos de línea que van á parar á la estacion, de lo cual resulta que todos los receptores de esta funcionan á la vez, y que si la comunicacion con tierra es muy mala, las corrientes retrógradas conservan bastante intensidad para poner en movimiento los receptores de la estacion que trasmite. En el caso de que la estacion que tiene defectuosa comunicacion con tierra sea la que expide, como la electricidad negativa de la pila encuentra demasiada resistencia en el hilo de tierra, atraviesa los receptores, se propaga por los diferentes hilos de línea y va á parar á los receptores de la estacion colateral. Siendo la comunicacion con tierra muy mala, puede suceder que todos los receptores de las dos estaciones colaterales funcionen á la vez.

»Bastan estas ligeras indicaciones para que se comprenda la naturaleza é importancia de las perturbaciones que pueden sobrevenir en las líneas telegráficas á consecuencia de la mala comunicacion de los aparatos con la tierra; así es que por mucho cuidado que se tenga en la instalacion y entretenimiento de los hilos de tierra, nunca será demasiado.» (C. Bontemps, *Los sistemas telegráficos.)*

VI

LA RED TELEGRÁFICA UNIVERSAL

Consideramos ocioso encomiar la importancia de la telegrafía eléctrica en cuanto se refiere á las relaciones privadas, oficiales é internacionales. Esta aplicacion de uno de los ramos de la física que han hecho más progresos de un siglo á esta parte, es una conquista tan brillante del genio humano sobre el tiempo y las distancias, que nadie podrá desconocer su inmensa trascendencia. Limitada en un principio á la corrrespondencia oficial ó gubernativa, á los despachos diplomáticos, ha adquirido todo su desarrollo tan luégo como se experimentó la necesidad de ponerla al servicio de los intereses privados. Desde este momento ha tomado un vuelo asombroso el uso del telégrafo, vuelo que no cesa de crecer á medida que aumenta el número de estaciones abiertas al público; así es que, concretándonos á Francia, veinte años atrás diez y siete estaciones telegráficas apénas trasmitian anualmente 9000 despachos, miéntras que hoy 3500 estaciones expiden más de 6 millones.

El despacho telegráfico no sirve tan sólo para las relaciones de familia ó amistad, sino tambien, y más especialmente, para las de negocios comerciales, industriales y bursátiles. Esto en cuanto á los intereses privados. La diplomacia, la guerra, las obras públicas, la administracion, la política, la policía, apelan continuamente al telégrafo. En una esfera más elevada y serena, la de la ciencia, presta eminentes servicios, proporcionando á los astrónomos los medios de determinar con precision la longitud, anunciando á todos los observatorios el descubrimiento de astros nuevos, cometas ó planetas, y haciendo así ganar mucho tiempo, semanas enteras, para la comprobacion y consignacion de los descubrimientos. En meteorología, el servicio telegráfico anuncia las próximas perturbaciones del tiempo, las crecidas de los rios, avisa á los puertos los temporales inminentes, y dota así á la navegacion de preciosos informes que han evitado muchos siniestros á los buques y á sus tripulaciones.

Esta enumeracion de los servicios prestados por la telegrafía es sobrado incompleta; pero el mejor medio de demostrar toda su importancia es trascribir á continuacion algunas cifras que indican el estado actual de la red de líneas aéreas y submarinas que funciona hoy en toda la tierra.

El desarrollo de los hilos en el globo entero

ces cada aparato, trasmitidor y receptor, debia estar puesto á tierra, es decir, debia comunicar con el suelo por un hilo especial, de algunos metros de longitud, introducido en la tierra húmeda. Por lo comun se hace el contacto más completo soldando los hilos de tierra á planchas metálicas de cierta superficie, por ejemplo, de un metro cuadrado, de suerte que la comunicacion eléctrica con el suelo tenga efecto por gran número de puntos.

no baja de 2 millones de kilómetros, lo que equivale á cincuenta veces la longitud de la circunferencia de la tierra. De esta cifra total corresponden á la telegrafía submarina 80,000 kilómetros repartidos entre 231 cables, de longitudes desiguales.

Hace diez años que las líneas aéreas europeas medían 270,000 kilómetros, y la longitud total de los hilos 700,000; á fines de 1877 estas cifras ascendian á 450,087 y 1.200,000 respectivamente. Francia tenia á la sazon 44,000 kilómetros de líneas y 123,000 de hilos; á fines de 1880, la longitud de las líneas telegráficas francesas era de 59,152 kilómetros, cuando en 1851 sólo era de 2000.

Los demás países de Europa que tienen su red más extensa contaban á fines de 1880 las siguientes longitudes de líneas, en las cuales no van comprendidas las de las numerosas líneas afectas al servicio especial de los ferro-carriles:

Rusia.	89,872	kilómetros
Alemania.	66,289	—
Austria-Hungría.	48,644	—
Inglaterra.	35,449	—
Turquía.	27,336	—
Italia.	25,082	—

Australia tenia á la sazon una red de 42,947 kilómetros; y la de las Indias inglesas ascendia á 29,120 (1).

El número de los despachos expedidos ha aumentado en proporcion enorme. Para dar una idea de la actividad de la correspondencia en los países industriales, citaremos á Inglaterra, por cuya red circularon durante el año 1870, 10.200,000 despachos, ó sea 203,600 por semana. M. W. Huber, de quien tomamos estos datos estadísticos, dice que el 18 de julio de 1870, dia en que se conoció en Lóndres la declaracion de guerra entre Francia y Prusia, se recibieron en la estacion central 20,592 despachos. La red telegráfica india expidió en 1871 33,000 despachos; y á pesar del alto precio de las tasas, 240,000 telégramas han atravesado en un año el Océano por los cables trasatlánticos. El número de telégramas expedidos en 1880 en los Estados Unidos, cuyas líneas tenian en 1.° de enero de 1881 272,164 kilómetros con 500,000 de desarrollo de hilos, excedió de 33 millones. En estas cifras no van incluidos los hilos destinados al servicio especial de los caminos de hierro.

Estos datos estadísticos bastan para formarse idea del vuelo que ha tomado la correspondencia telegráfica en varios puntos del globo.

Europa está en comunicacion directa con el continente americano del Norte por siete cables, cinco de los cuales parten de Valentia (Irlanda), y dos de Brest, yendo á parar á Trinity-Bay, en la isla de Terranova, y á San Pedro Miquelon, para llegar desde allí al territorio de los Estados Unidos. La América del Sur está tambien enlazada con Europa por una línea submarina que pasa por la isla de Madera y las de Cabo Verde y termina en la extremidad más oriental de América, esto es, en el cabo de San Roque (Brasil).

La India se halla actualmente en comunicacion telegráfica con Europa por dos cables submarinos; ambos van por el mar Rojo, y penetrando en el Mediterráneo, se dividen en varios ramales que van á Sicilia y á Italia, á Francia, y por último á Inglaterra, costeando á Portugal, de donde se dirigen á la punta sudoeste de la Gran Bretaña por el Atlántico; otras líneas se subdividen tambien á partir del golfo Pérsico, en muchas líneas aéreas que penetran en Rusia, Alemania y Siria. Finalmente, la misma Australia comunica con la red india, de suerte que un despacho expedido en Sydney llega directamente á New-York ó á Boston, y de allí, por la línea telegráfica que cruza el continente americano, hasta San Francisco, á orillas del Océano Pacífico. En ménos de una hora recorre este telégrama 270° de longitud, ó sea una distancia efectiva de más de 30,000 kilómetros. El siguiente caso, que copiamos de la obra de M. Huber, bastará para dar una idea de la rapidez de la correspondencia eléctrica.

«El 12 de noviembre último, dice, celebraban al mismo tiempo un banquete, en Lóndres y en Adelaida, los interesados en esta gran línea de 35,852 kilómetros, de los cuales 28 son de cables submarinos (la línea transaustraliana). En Lóndres se habia instalado un aparato telegráfico detrás del sillon del presidente. Al dar principio al banquete, se expidió á Australia

(1) Hácia la misma época España tenia 16,263'792 kils. de líneas y 41,046'799 de desarrollo de hilos. *(N. del T.)*

un despacho de felicitacion: á su conclusion, llegaba de Adelaida la respuesta, terminada en un hurrah» (1).

Todavía queda un vacío para que la circunferencia entera del globo esté enlazada por la red. América y Asia no comunican aún directamente: pero ya se han proyectado cuatro líneas, dos de ellas enteramente submarinas, y muy en breve cruzarán el Océano Pacífico las corrientes eléctricas, como atraviesan el Atlántico hace ya diez y seis años. Hoy llegan ya los despachos á Paris y Lóndres desde los puntos más remotos del globo, y por la noche publican los periódicos el relato de los principales sucesos acaecidos durante el dia (y áun durante la noche) en las cinco partes del mundo. El lector podrá conjeturar cuál será en lo porvenir la influencia de estas comunicaciones continuas bajo el punto de vista de las relaciones políticas, comerciales, industriales, en una palabra, bajo el punto de vista de la civilizacion progresiva.

CAPÍTULO VII

EL TELEFONO Y EL MICROFONO

I

ORÍGEN Y DESCUBRIMIENTO DEL TELÉFONO

En el primer tomo de EL MUNDO FISICO hemos estudiado, con el nombre de *Telefonía*, varios sistemas de trasmision del sonido que tienen por objeto comunicar, ya por medio de la palabra misma, ó ya por señales acústicas convenidas, á una distancia superior á lo que permite la propagacion de las ondas sonoras al aire libre. Pero desde la invencion del maravilloso instrumento que vamos á describir en este capítulo, el nombre de telefonía sólo se aplica á la trasmision de los sonidos por medio de la electricidad. Como este sistema de trasmision hace participar á las ondas sonoras de la extraordinaria velocidad de propagacion que, segun hemos visto, es el privilegio de las ondas eléctricas, resulta que la telefonía rivaliza hoy, por decirlo así, con la telegrafía eléctrica en cuanto á rapidez y extension de las distancias recorridas.

Se puede hacer remontar el orígen de esta reciente invencion al año 1837, en cuya época el físico americano Page notó por primera vez el fenómeno de la produccion de los sonidos en el seno de sustancias magnéticas en el momento de su imantacion. Habiendo acercado rápidamente los polos de un iman de herradura á una espiral plana atravesada por una corriente, percibió un sonido musical; de la Rive, Gassiot y Marrian observaron el mismo fenómeno en una barra de hierro dulce rodeada de una hélice, en el momento en que pasaba por ésta una corriente. El sonido es más intenso si se hacen experimentar á la corriente intermitencias muy juntas, y muy débil si se sustituye la barra de hierro dulce con otra de acero templado.

Largo tiempo estuvo sin salir del terreno de la teoría el estudio de los sonidos producidos por la electricidad; los físicos, sin dejar de tomar nota de las circunstancias en que ocurrian estos fenómenos, se atenian más especialmente á explicar sus causas, atribuyéndolas á los movimientos moleculares que resultaban de la orientacion de los elementos magnéticos. Segun de la Rive, la corriente discontinua que recorre las espiras de la hélice tiende á disponer las moléculas de la barra que sufre la imantacion en filas longitudinales, y siempre que se inter-

(1) El periódico *La Nature* cita los ejemplos siguientes de trasmision rápida de despachos á grandes distancias. El dia de la apertura de la Exposicion de Melbourne, el comisario especial lord Normanby dirigió un telégrama á la reina de Inglaterra. Expedido á las 12 y 50 minutos de la tarde llegó á Lóndres á las 3 y 48 minutos de la madrugada: al trasmitirlo, la hora de Lóndres era, á causa de la diferencia de longitudes, las 3 y 10 minutos; por consiguiente recorrió en *treinta y ocho minutos* más de 16,000 kilómetros de distancia. Este telégrama constaba de 66 palabras. Otro ejemplo de trasmision rápida es el de un despacho de Lóndres para Sydney, expedido en una hora veinte minutos, pero que sólo invirtió treinta y cinco segundos en franquear la distancia de Singapore á Sydney, es decir, 8,160 kilómetros.

rumpe la corriente, las moléculas vibran en virtud de su elasticidad al recobrar su posicion de equilibrio. La mayor movilidad que tienen en el hierro dulce explica la mayor intensidad del sonido producido sobre el que emiten las barras de acero templado.

Cualquiera que sea el valor de las teorías propuestas acerca de esta interesante cuestion de física molecular, los hechos nuevos revelados por el descubrimiento del teléfono han adquirido tal importancia y sus aplicaciones tal desarrollo que nos urge proceder á su descripcion.

Los primeros sonidos que se logró trasmitir á larga distancia por la electricidad son los *sonidos musicales*; los aparatos construidos con este objeto, reproducen con su intensidad y su tono relativos, las notas emitidas por un instrumento de música, los sonidos de una melodía; pero son impotentes para trasmitir los matices de timbre ó de articulacion. Tales son los *teléfonos musicales (tone telephone)*. El teléfono inventado en 1860 por M. Reiss es el primero que resolvió completamente el problema de la trasmision de los sonidos en tan reducidas condiciones.

Diez y seis años despues, el profesor Graham Bell inventaba el *teléfono de articulacion (articulating telephone)*, capaz de trasmitir toda clase de sonidos, y sobre todo las articulaciones de la voz humana; de suerte que dos personas pueden conversar con él á larga distancia, por medio de un hilo conductor y los aparatos que muy luégo describiremos.

Empecemos por los teléfonos musicales.

II

TELÉFONOS MUSICALES

Todo teléfono se compone, como cualquier sistema telegráfico, de dos partes distintas, enlazadas por el hilo de línea, un *trasmisor* y un *receptor*.

La figura 344 representa el trasmisor y el receptor del teléfono musical de Reiss.

K es la caja sonora destinada á recoger las vibraciones que entran por el tubo cilíndrico T, que sirve de embocadura ó de porta-voz. Esta caja concentra y refuerza los sonidos de la pieza musical que se toca en la estacion delante del trasmisor. Una tenue membrana de cautchuc, puesta enfrente de una abertura circular practicada en la parte superior de la caja, recibe las ondas sonoras y vibra al unísono de los sonidos sucesivamente emitidos. Esta membrana lleva en su centro un ligero disco de platino

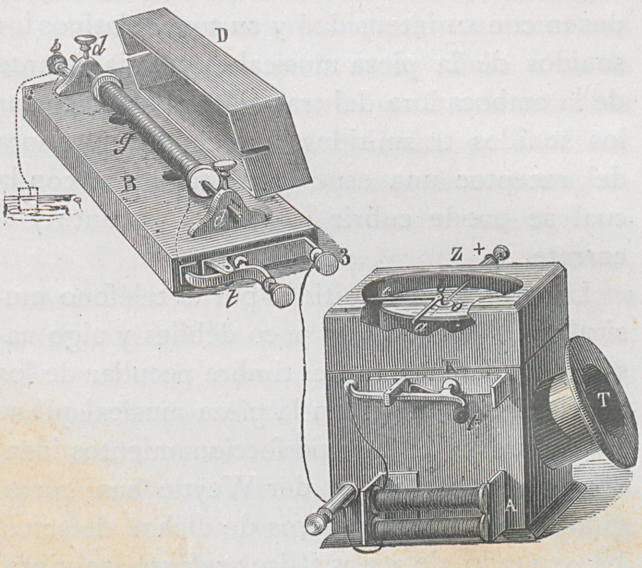


Fig. 344.—Teléfono musical de Reiss

o pegado á su superficie; una palanca acodada *cba* tiene sus dos brazos *o* y *c* enlazados metálicamente con el manipulador Morse *t* y el electro-iman A, del cual parte el hilo de línea. Una pila cuyo polo positivo está empalmado al boton Z comunica con el disco de platino *o*. Así pues, siempre que la varilla *b* toque el disco, pasará una corriente á la línea, corriente que quedará cortada cuando la varilla cese de estar en contacto con aquél. Compréndese pues que todas las vibraciones de la membrana producirán una serie de emisiones y de interrupciones de corrientes, cuyo número será idéntico al de vibraciones del sonido que le da su movimiento y variará con él.

Veamos ahora cómo funciona el receptor. Consiste en su esencia en una varilla de hierro *dd*, del grueso de una aguja de hacer media, sostenida en dos caballetes sobre una caja sonora B. Un carrete electro-magnético rodea dicha varilla en la mayor parte de su longitud, y el hilo de que están formadas sus espiras comunica por el tornillo 4 con la tierra y por el 3 con el de línea, quedando así cerrado el circuito. El manipulador Morse *t* sirve como el del trasmisor para la correspondencia telegráfica de las dos estaciones.

Tan luégo como funciona el trasmisor, las emisiones é interrupciones de corriente ocasionadas por las vibraciones de la membrana afectan la hélice del receptor, y el alambre *dd* entra en vibracion por su influencia, segun lo hacian prever los fenómenos observados por Page, de la Rive, etc. De este modo se reproducen con su intensidad y su tono relativos los sonidos de la pieza musical ejecutada delante de la embocadura del trasmisor. Para reforzar los sonidos trasmitidos, hay en la caja sonora del receptor una especie de tapadera con la cual se puede cubrir la varilla vibrante y el carrete.

Los sonidos trasmitidos por el teléfono musical de Reiss son un poco débiles y algo nasales, y no conservan el timbre peculiar de los instrumentos que tocan la pieza musical que se ha de trasmitir. Los perfeccionamientos ideados por Yeates y Van der Weyde han corregido en parte los primeros de dichos defectos. El segundo de estos físicos reforzó las vibraciones en el trasmisor haciéndolos reflejar por paredes huecas en el interior de la caja; y en el receptor, introduciendo en el carrete muchos alambres en lugar de uno solo; con lo cual obtuvo sonidos más llenos é intensos. Los señores Cecilio y Leonardo Wray han conseguido el mismo resultado introduciendo en el teléfono musical de Reiss las innovaciones siguientes. El trasmisor tiene, además de la membrana que lleva el disco de platino, otra que forma en el interior de la caja un tabique que la divide en dos capacidades separadas. Constituye el interruptor una pequeña punta de platino que lleva una palanca de muelle articulada sobre un disco de platino, el cual está unido al circuito por dos hilillos de platino que penetran en dos vasos llenos de mercurio: la membrana vibrante de la abertura circular queda así más libre y entra con más facilidad en vibracion. El receptor difiere del de Reiss en que consta de dos carretes cada uno de los cuales rodea una varilla de hierro; las dos varillas descansan en dos lengüetas de cobre sostenidas en columnitas de tuercas; así como los carretes, están en la prolongacion una de otra, y sus extremidades contiguas se hallan á muy corta distancia sin tocarse.

En el teléfono musical de Gray los sonidos del trasmisor son el resultado de las vibraciones de unas placas metálicas, que sirven de interruptores de un carrete de induccion. Tiene un teclado provisto de tantas teclas como placas vibrantes, y como estas están arregladas de modo que emiten sonidos musicales de varios tonos, por ejemplo, las notas de una escala de muchas octavas, compréndese que manipulando las teclas de este teclado, al circular la corriente primaria del carrete de induccion por los electro-imanes de los interruptores, producirá sonidos que serán trasmitidos por las corrientes secundarias procedentes de las primarias interrumpidas. El receptor no es otra cosa sino un electro-iman que tiene sobre sus polos una caja cilíndrica de metal con dos aberturas como la caja de un violin y que hace á su vez las veces de caja sonora. Las imantaciones y desimantaciones sucesivas de las barras de hierro dulce del electro-iman engendran vibraciones iguales en número á las interrupciones de la corriente y por consecuencia á las placas vibrantes del trasmisor. Segun vimos anteriormente, su inventor Elisha Gray aplicó este mismo principio á la trasmision simultánea de señales en su *telégrafo armónico*.

III

TELÉFONOS DE ARTICULACION Ó TELÉFONOS PARLANTES

Los aparatos que acabamos de describir reproducen á larga distancia los sonidos musicales simples; pero son impotentes para reproducir el timbre, cualidad que, segun hemos visto, depende de la coexistencia de cierto número de armónicos del sonido fundamental, y por consiguiente, las entonaciones de las vocales, las articulaciones de la voz humana no pueden trasmitirse por este sistema, con el cual sólo es posible reproducir melodías musicales, y por lo tanto sólo ofrece escaso interés por lo que respecta á sus aplicaciones. Afortunadamente, la invencion del teléfono de articulacion debia seguir de cerca á los musicales, y hoy ha quedado enteramente resuelto el problema de la trasmision de la palabra con todas sus inflexiones y todos sus matices. Apénas han trascurrido seis años de esta invencion, calificada por el sabio inglés W. Thomson de *maravilla de las maravillas*, y ya se ha extendido por todas

partes el uso del teléfono, y ya otras cien aplicaciones derivadas del aparato de Graham Bell, han demostrado el fecundo impulso que toda idea original da siempre al genio de los descubrimientos, en el terreno de las investigaciones científicas.

En 1876 fué cuando Graham Bell, físico americano oriundo de Edimburgo, presentó en

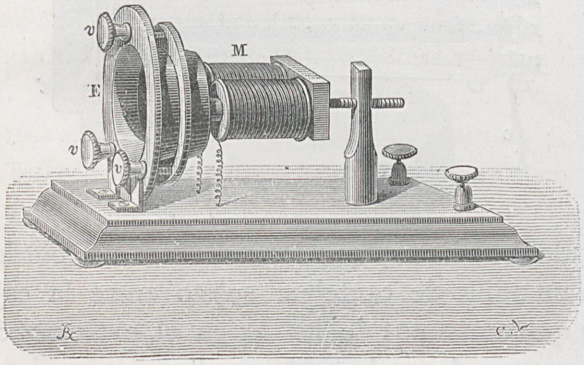


Fig. 345.—Teléfono Bell : trasmisor primitivo

la Exposicion de Filadelfia el primer teléfono parlante. El inventor ha enumerado la serie de experimentos y de ideas que le condujeron progresivamente á la construccion del aparato que vamos á describir. Como seria demasiado prolijo reproducir su relato, nos limitaremos á extractar de él el primer experimento decisivo que hizo con el aparato trasmisor representado en la fig. 345. Pero empecemos por describir el aparato en sí. M es un electro-iman animado por la corriente de una pila, cuyos polos están enfrente de una membrana extendida sobre un disco de hierro; en el centro de la membrana hay una armadura consistente en un muelle de reloj del tamaño de la uña del pulgar, y con unos tornillos *vvv*, adaptados á la abertura E en forma de embudo ó de trompetilla acústica, se podia estirar más ó ménos la membrana, del mismo modo que se podian acercar ó alejar de la armadura los polos del sistema electro-magnético, merced al movimiento de un tornillo que sostenia este sistema. El receptor era en un principio un aparato semejante, sustituido luégo por M. Bell con el que representa la figura 346, como veremos.

Al hablar en la embocadura, las vibraciones del aire se trasmitian á la membrana, cuya armadura, oscilando delante de los polos del electro-iman, producia una serie de corrientes inducidas; trasmitidas estas al receptor por el hilo de comunicacion, reactuaban sobre el electro-iman de este aparato; y la armadura y la membrana reproducian así los movimientos vibratorios y los sonidos correspondientes.

Con un aparato dispuesto de este modo, Bell obtuvo trasmisiones telefónicas que le probaron que estaba en buen camino. «Recuerdo, dice, un experimento hecho entónces con este teléfono, que me llenó de júbilo. Uno de los aparatos estaba situado en una de las salas de conferencias de la universidad de Boston y el otro en la planta baja de un edificio contiguo. Uno de mis discípulos observaba este aparato y yo el otro. Cuando pronuncié las palabras: *¿Comprende V. lo que digo?* me llené de alegría al oir al través del instrumento esta respuesta: «Sí, le comprendo á V. perfectamente.» Es indudable que la articulacion de la palabra no era entónces perfecta, y se requeria toda la atencion que prestaba yo para distinguir las palabras de dicha respuesta; sin embargo, la articulacion de estas palabras existia, y yo podia creer que su falta de claridad consistia únicamente en la imperfeccion del instrumento. Sin explicar detalladamente todas las pruebas que hube de hacer para mejorar la construccion del aparato, diré que al cabo de algun tiempo vine á emplear como teléfono de recepcion el aparato representado en la figura 346, siendo este mo-

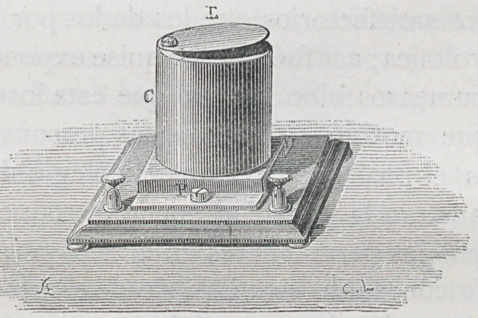


Fig. 346.—Teléfono Bell: receptor primitivo

delo, unido al de la figura 345, combinado como trasmisor, el que fué admitido en la Exposicion de Filadelfia.

»En este nuevo modelo de receptor, la membrana estaba reemplazada por una placa vibrante de hierro L fijada en la envolvente cilíndrica de un electro-iman tubular C, y el sistema montado sobre un puente P que servia de caja sonora. Las articulaciones producidas por este aparato eran muy claras; pero su de-

fecto principal consistia en que no podia servir de aparato trasmisor, por lo cual era necesario tener dos aparatos en cada estacion, uno para la trasmision y otro para la recepcion.

»Entónces procuré variar la disposicion del teléfono trasmisor, cambiando las condiciones de sus elementos constitutivos, por ejemplo las dimensiones y la tension de la membrana, el diámetro y el espesor de la armadura, el tamaño y la potencia del iman y áun de las hélices de hilo enrolladas en él; y pude reconocer empíricamente sus mejores condiciones de organizacion y combinar la mejor forma que se podia dar al aparato. Así por ejemplo, reconocí que disminuyendo la longitud del carrete del hilo de la hélice magnetizante y la superficie de la placa de hierro adaptada á la membrana, aumentaba no sólo la intensidad de los sonidos sino tambien su claridad de articulacion, lo que me indujo naturalmente á desechar la membrana de oro batido para emplear solamente una simple placa de hierro, y como hacia largo tiempo que habia observado que la intervencion de la corriente que atravesaba el electro-iman sólo servia para magnetizarlo, me decidí á suprimir la pila y á emplear por núcleo magnético un iman permanente. Sin embargo, en la época en que se debian exponer por primera vez estos instrumentos al público, los resultados obtenidos con este sistema eran ménos satisfactorios que los dados por la batería voltaica; así fué que no quise exponer otros instrumentos sino los en que esta intervenia, lo que motivó el que ciertas personas, entre otras el profesor Doltear del colegio de Tufts reclamaran la prioridad por la introduccion de los imanes permanentes en el teléfono; pero yo habia concebido esta idea desde el principio de mis investigaciones, cuando me ocupaba de las trasmisiones simultáneas de los sonidos musicales.»

El teléfono de Bell, con esta primera forma, tenia el inconveniente de exigir dos aparatos completos por cada estacion, un trasmisor y un receptor. La adoptada hoy generalmente es más sencilla, por cuanto el mismo aparato sirve á la vez de receptor y de trasmisor. La figura 347 representa una seccion trasversal, mediante la cual comprenderemos su mecanismo y su modo de funcionar. En el fondo de una caja circular de madera vaciada en forma de embudo y provista de una abertura V, hay una placa vibrante L L hecha de una hoja de hierro muy delgada ($0^{mm},1$ á $0^{mm},2$) y cubierta de una capa de barniz ó de estaño para impedir la

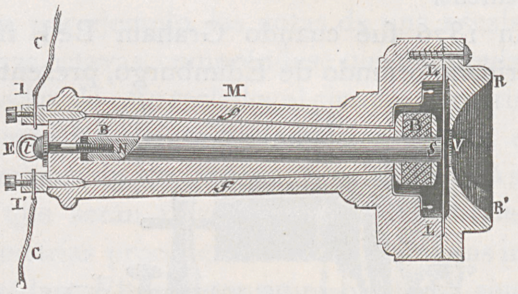


Fig. 347.—Corte del teléfono Bell

oxidacion. Esta placa descansa por sus bordes en un anillo de cautchuc sujeto entre la caja de que acabamos de hablar en el extremo de un mango de madera M, que lleva en su interior el iman cilíndrico N S y la bobina B. El polo del iman está enfrente del centro de la placa vibrante de la cual se halla muy próximo, pero sin tocarla, cuando oscila por efecto de las vibraciones de la voz. Por lo demás, con un tornillo se puede avanzar ó retroceder este polo, en lo cual consiste el modo de arreglar el teléfono. Las puntas del hilo del carrete comunican por dos varillas *f f*, metidas en el espesor del mango, con los botones de adherencia I, I', á los cuales se empalman los hilos C C' del circuito.

Para explicar cómo se efectúa la trasmision de los sonidos con este aparato, es menester explicar lo que sucede cuando se habla delante de la embocadura: 1.° en el trasmisor, 2.° en el extremo de la línea ó en el receptor.

Los sonidos de la voz, concentrados por la forma cónica de la embocadura, trasmiten sus vibraciones á la placa elástica, cuyos movimientos reproducen, con todas sus variaciones de tono, amplitud y timbre, las del aire mismo agitado por la voz. Cuando se acerca ó aleja la placa del polo contiguo á la barra imantada, sus movimientos tienen por objeto modificar en consecuencia la distribucion del magnetismo en la barra. En una palabra, el magnetismo de esta sufre, en su intensidad y en su posicion, variaciones que corresponden á las deformaciones de la placa vibrante y que equivalen por tanto á cambios de intensidad y de distancia

del iman. De aquí resultan en el hilo del carrete corrientes de induccion cuyo sentido é intensidad varian y que van á parar por el hilo de línea al carrete del receptor.

Tales son los fenómenos que ocurren en el trasmisor del teléfono, fenómenos que son más complejos en el receptor.

Por lo pronto no es dudoso que las corrientes de sentido é intensidad variables que se han

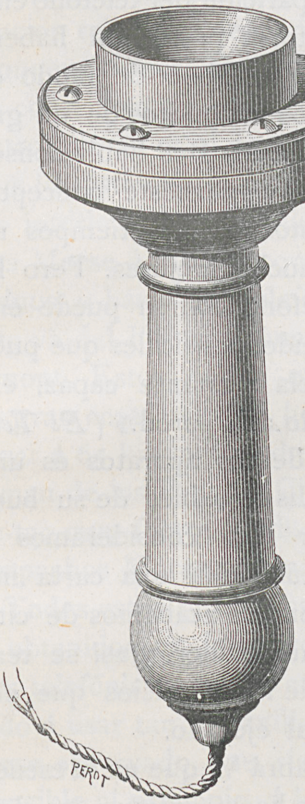


Fig. 348.—Teléfono Bell

dirigido al carrete del receptor, deben ocasionar en el magnetismo de su iman cambios parecidos á los que ocurren en el iman del trasmisor, y que al actuar estas variaciones en la placa vibrante, suscitarán movimientos análogos á los de la primera placa. La del receptor ejercerá con sus vibraciones cierta reaccion sobre el aire de la embocadura, y la persona que acerque á ella el oído percibirá los mismos sonidos, con todos sus matices, que se han emitido en el punto de partida. Esto equivale á decir que en las diferentes partes del receptor ocurren fenómenos en un todo semejantes á los que han producido las vibraciones de la palabra en las partes similares del trasmisor, aunque con la diferencia de que su órden es inverso, de suerte que lo que en un aparato es causa en el otro es efecto.

Hoy se considera esta primera explicacion de los fenómenos que ocurren en el receptor del teléfono Bell, si no como inexacta, á lo ménos como insuficiente. La accion del iman en la placa vibrante parece muy distinta de la que se suponia en un principio: en vez de considerar sus vibraciones como efecto de las atracciones y repulsiones magnéticas de la barra imantada, se supone que proceden de la comunicacion de la placa con la masa del receptor, y que las vibraciones de éste reconocen por causa los movimientos moleculares que producen las corrientes inducidas en la barra por consecuencia de sus imantaciones y desimantaciones sucesivas. Los físicos han adoptado, en virtud de algunos experimentos, esta manera de ver. La medida de la intensidad de las corrientes desarrolladas en un teléfono Bell ha demostrado que son demasiado débiles para que se pueda formar concepto de los efectos producidos en la placa del receptor, si hubieran de atribuirse á atracciones de masa. Aquí sólo se trata de una dificultad teórica; pero los experimentos de Ader, que ha construido teléfonos sin placa vibrante y hasta sin iman, y obtenido la trasmision de la voz con imanes del tamaño de un alambre fijos en una tablita, y puestos en comunicacion con una masa metálica, así como los experimentos de Breguet, que ha reemplazado la delgada placa de Bell con otras de 15 centímetros de espesor, prueban suficientemente que los efectos moleculares se agregan en el receptor Bell á los de la atraccion magnética para reproducir los sonidos del trasmisor. En resúmen, las acciones y reacciones que entran en juego en el teléfono son ménos sencillas de lo que se creyó en un principio, y aún se ha de formular la teoría de este admirable instrumento (1).

(1) Du Moncel, que sostuvo ántes que nadie la influencia de las vibraciones moleculares del núcleo magnético, hace la deduccion siguiente, despues de analizar los experimentos de que acabamos de hablar y los de otros muchos físicos: «Si se resumen mentalmente todos los efectos de que acabamos de tratar, se llega á deducir que en un teléfono electro-magnético como el de Bell hay muchos modos de reproducir la palabra: 1.° uno que dimana de las vibraciones moleculares del núcleo magnético y de su armadura á consecuencia de las imantaciones y desimantaciones verificadas en ellos por efecto de las corrientes ondulatorias; 2.° otro que, en el caso de que las corrientes eléctricas sean bastante fuertes, resulta de verdaderas atracciones electro-magnéticas; 3.° otro que puede ser engendrado por la reaccion de unas espiras de la hélice magnetizante sobre otras; 4.° otro que puede resultar de las reacciones cambiadas entre la hélice y la barra magnética; 5.° y por último, otro que resulta de la trasmision mecánica

Antes de terminar, digamos una palabra acerca del modo de usar el teléfono ordinario de Bell. La persona que trasmite debe coger el aparato por el mango y aplicar los labios á la embocadura, articulando con claridad las palabras que pronuncia; cuanto más distinta y marcada sea la articulacion, más llenos y claros serán los sonidos emitidos, y más inteligible la trasmision. Miéntras tanto el oyente, situado en la otra estacion, tendrá la boquilla del teléfono aplicada al oído. Si los dos aparatos están unidos por los dos hilos adaptados á cada uno de ellos, el circuito quedará cerrado; mas si la distancia es algo considerable, basta un solo hilo, si bien con la condicion de que el segundo hilo de cada aparato esté á tierra. Por lo general se usan dos teléfonos en cada estacion: el que trasmite se acerca uno al oído y otro á la boca; y el oyente se aplica los dos á ambos oídos, y de este modo oye mejor.

Muchas personas pueden oir á la vez por otros tantos teléfonos puestos en comunicacion con la línea por hilos de derivacion empalmados á cada uno de ellos. Si la distancia es grande, se hace uso de una caja sonora cerrada con dos membranas, una de ellas en contacto con la placa vibrante del receptor, y unos tubos acústicos, salidos de esta caja, van á parar al oído de cada oyente.

Por último «tambien se pueden obtener, dice M. Du Moncel, audiciones simultáneas del teléfono interponiéndolas en un mismo circuito, habiendo demostrado los experimentos hechos en Nueva York que de este modo se podia hacer hablar cinco de ellos escalonados en varios puntos de una línea telegráfica. De algunas pruebas telefónicas hechas en las líneas de las esclusas del departamento del Yonne ha resultado que, en un hilo de 12 kilómetros en el cual se habian colocado muchos teléfonos á diferentes distancias, tres ó cuatro personas habian podido hablar unas con otras á través de ellos, oyendo cada una lo que decian las otras, y áun cuando las preguntas y respuestas se cruzaban, no dejaban de ser perceptibles. Pero no es esto sólo; sino que poniendo un teléfono en otro hilo de 10 kilómetros separado del primero 50 centímetros, y el siguiente en una longitud de 2 kilómetros solamente, se ha podido oir la conversacion sostenida en el otro hilo, y áun distinguir claramente las voces de los dos interlocutores.

«Desde la aparicion del teléfono en Europa, muchos inventores pretenden haber logrado hacer hablar un teléfono de modo que se le oiga desde todos los puntos de un gran salon. Hemos visto que M. Bell habia conseguido ya este resultado, y por este concepto se han obtenido en estos últimos tiempos resultados que se creen mucho mejores. Pero la verdad es que un teléfono comun puede emitir perfectamente sonidos musicales que pueden oirse en una estancia bastante capaz, estando el oyente arrimado á la pared.» (*El Teléfono.*)

El arreglo de los aparatos es una de las condiciones indispensables de su buen funcionamiento. Por esto consideramos oportuno reproducir textualmente una carta interesante dirigida al autor que acabamos de citar por el coronel de Champvallier, y así se tendrá además una idea de los servicios que el teléfono puede prestar al ejército.

«Sin duda sabrá V. que en la escuela militar de Clermont se hace continuo uso del teléfono Bell, no tan sólo durante los ejercicios de fuego, sino tambien para comunicar desde mi despacho con el campo de tiro, situado á 15 kilómetros. Hace más de un año que está instalada esta línea telefónica, y jamás se han interrumpido un solo momento las comunicaciones. Hablamos en voz baja, y todos nos servimos indistintamente de los teléfonos, sin perder nunca una palabra. Es tan fácil hablar y oir, que durante el invierno un sargento dictaba todas las mañanas dos páginas á un artillero de escasa instruccion, que custodia nuestro puesto á 1,000 metros de altitud; este deletreaba todas las palabras, y de este modo se le ha podido dar con muy buen resultado lecciones de ortografía y hasta de pronunciacion. Pues bien, el dictado y la repeticion no ocupan nunca más de media hora, precisamente el tiempo que seria menester para las mismas operaciones si

de las vibraciones del sistema electro-magnético por las diferentes partes accesorias que componen el aparato telefónico.

»Segun M. Flemming Jenkin, hay aún otro sistema de reproduccion de la palabra que debe atribuirse á las reacciones de induccion de la hélice magnetizante sobre el diafragma que, segun los experimentos de M. Blyth, puede estar formado de materias no magnéticas; pero, segun los del abate Laborde, la reproduccion de los sonidos debe atribuirse en este caso á una trasmision mecánica de los sonidos del núcleo magnético por los soportes del diafragma.» (*El Teléfono.*)

el maestro y el discípulo estuvieran en la misma habitacion.

»Cada estacion telefónica tiene tres teléfonos: uno, provisto de una boquilla de 30 centímetros de largo para hablar, está colocado en una posicion invariable á 45°, sobre la mesa; con los otros dos teléfonos, adaptados á una montera especial que los coloca por sí misma junto á los dos oídos, se puede oir por mucho ruido que haya, y sin que las personas situadas en la estacion telefónica tengan que interrumpir sus conversaciones. De este modo los interlocutores conservan sus manos en libertad.

»Nuestro hilo no es el único que hay en los postes que lo sostienen, y miéntras escuchamos á nuestro interlocutor telefónico, se oyen los despachos Morse ó Hughes que pasan por los hilos vecinos, y hasta los telefónicos cursados por el que va del Puy de Dôme al observatorio de Clermont. Estos ruidos extraños no nos molestan gran cosa; pues yo he podido hablar á *media voz* á 65 kilómetros de distancia, entre San German de los Fosos y Clermont, á pesar de un tic-tac muy fuerte producido por el paso de los despachos Morse por más de diez hilos vecinos. Todos estos resultados no concuerdan con los obtenidos en la mayor parte de las estaciones telefónicas, en las cuales casi se ha renunciado á usar tan maravilloso instrumento, por haberse observado que, siendo muy claro y muy sensible al principio, á la larga se vuelve la audicion difícil é irregular. Conforme lo ha supuesto V., el secreto del buen éxito que aquí logramos consiste únicamente en nuestro método de arreglo del aparato, único objeto de la presente carta.

»Los teléfonos comunes tienen un tornillo de graduacion que se ha de arreglar con un desatornillador procediendo á tientas por decirlo así, y gracias á que no se fuerce el iman contra la placa vibrante estropeándola, lo cual sucede con frecuencia en las estaciones que, como la nuestra, están á merced de todos, sean hábiles ó torpes ó ignorantes.

»Con el auxilio de M. Chatard, diestro aficionado de Clermont, hemos reemplazado la cabeza del tornillo de graduacion con un boton bruñido que lleva en la base de su eje una aguja perpendicular á él. Esta aguja se mueve en la superficie de un círculo de cobre cuya circunferencia está dividida en doce partes iguales, señaladas con los números 1, 2, 3, etc.

»Empiézase por arreglar el teléfono haciendo leer con el mismo tono al corresponsal y dando vuelta al boton regulador hasta el máximum de claridad de la audicion; si el teléfono debe servir solamente para escuchar (lo cual es preferible en una estacion bien instalada), no hay necesidad de más arreglo.

»Si debe servir únicamente para hablar, se le arregla mediante la operacion inversa, es decir hablando uno mismo y dando vueltas al boton á la derecha ó á la izquierda, hasta que el corresponsal avise que oye con toda claridad las palabras. Si debe servir para hablar y oir, despues de arreglarlo de los dos modos descritos y de observar las dos posiciones de la aguja en la circunferencia del limbo, posiciones siempre muy próximas, pero diferentes, se da á la punta de la aguja una posicion intermedia.

»De todos modos, una vez bien arreglado el teléfono, habrá que alejarlo ó acercarlo muy poco al iman de la placa vibrante para arreglarlo de nuevo segun la temperatura, el estado eléctrico ó húmedo del aire, la fuerza de imantacion cambiante de la barra, etc. La experiencia nos ha enseñado que con la rosca de tornillo que aquí empleamos, basta una semicircunferencia recorrida por la punta de la aguja á derecha ó á izquierda para graduarlo perfectamente. Entónces ponemos una piececita de detencion en el límite á 180° de la posicion de la aguja cuando se ha graduado el teléfono por primera vez, y nuestras placas vibrantes quedan á cubierto de las torpezas, voluntarias ó no, de los visitantes y de los indiscretos. Cada teléfono lleva un número de órden, y en un registro que se lleva *ad hoc* se inscribe, enfrente del número del aparato y en la primera columna su punto de graduacion, es decir, la division en que se encuentra la punta de la aguja. Cuando se le ha de graduar de nuevo, lo que es raro, se le examina préviamente, y se hace la anotacion correspondiente en otra columna con la fecha.

»Gracias á este sencillo procedimiento, es posible confiar á todos y sin necesidad de vigilancia los teléfonos, y colocar de nuevo, sin vacilacion ni tanteos, el iman en su posicion primitiva. Cuantos quieran valerse como nos-

otros del método citado, llegarán á servirse sin dificultad del maravilloso instrumento inventado por M. Bell, el mejor y más sencillo de todos, y que en mi concepto no necesita perfeccionamiento alguno, á lo ménos para las distancias cortas.

»Y en efecto, ¿qué más puede pedirse á un instrumento sino que trasmita á 15 ó 20 kilómetros la voz con su timbre y su vigor, áun cuando se haya de dirigir á la vez, como yo lo he hecho, á veinte personas, poniendo en el mismo circuito veinte teléfonos?»

IV

TELÉFONOS DE ARTICULACION DE VARIAS FORMAS

Desde la invencion de Graham Bell, se ha modificado la construccion del teléfono de muchos modos con objeto de perfeccionarlo; como la mayor parte de estas modificaciones son de importancia secundaria, describiremos tan sólo dos ó tres de las más interesantes.

El teléfono de Siemens se distingue del de Bell por su iman de herradura, cada uno de cuyos apéndices polares tiene una bobina enfrente de la placa vibrante, y por un avisador en forma de silbato que se atornilla al orificio de la embocadura. Una varilla fija en la boquilla del silbato se apoya en la placa, y cuando se sopla en aquel, comunica las vibraciones de la boquilla al diafragma, resultando en el receptor una señal de llamada bastante fuerte para que se oiga á cierta distancia. Oido este aviso, se desatornilla el silbato y se habla como de costumbre.

El teléfono Siemens tiene el inconveniente de ser un tanto pesado, pero compensa este defecto con su potencia; el que habla puede situarse casi á dos metros de la embocadura, y el oyente comprender lo que se le dice á notable distancia del aparato receptor. Se le ha adoptado para el servicio del ejército y de la marina holandesa.

El sistema Gower es tambien notable por la potencia de los sonidos emitidos, que ha permitido hacer oir las palabras trasmitidas con aparatos bien construidos, en grandes salones como los de sesiones del Instituto ó de la Sociedad de Fomento. Por desgracia, sus sonidos son de un timbre metálico muy marcado, y la palabra no tiene toda la claridad apetecible.

La figura 349 demuestra cuál es la disposicion de este aparato. En C se ve que el iman tiene la forma de un anillo semicircular cuyos brazos, siguiendo un diámetro, presentan sus apéndices polares, de forma oblonga, enfrente uno de otro, á corta distancia del centro. Unas hélices de alambre muy fino los rodean y están enlazadas con los tornillos de empalme del circuito en la parte exterior del teléfono. El

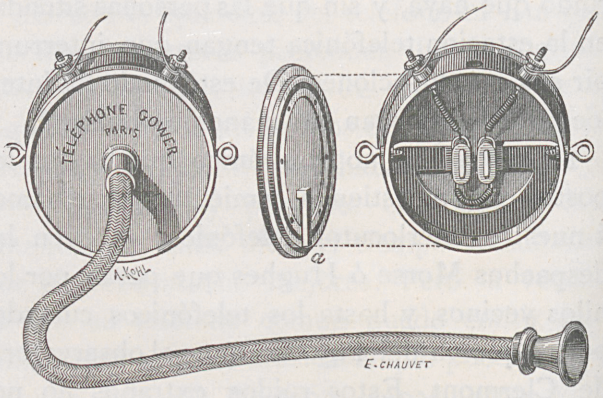


Fig. 349.—Teléfono Gower

diafragma, más grueso y mucho mayor que las placas ordinarias, está adaptado á una caja plana de laton B, que forma la tapadera de la caja C. En el centro de esta tapadera hay un tubo acústico que sirve, ya para hablar aplicando la boca á la embocadura, ó ya para oir acercándosele al oído. En *a* se ve un tubo encorvado que contiene una boquilla la cual vibra cuando se sopla en el tubo acústico; las vibraciones de esta boquilla, trasmitidas directamente al diafragma, y por las corrientes inducidas al receptor, producen un sonido bastante fuerte, como el de una trompetilla, que sirve de avisador.

Cuando se habla en voz baja, se hace uso en las dos estaciones de la trompetilla acústica que se ve en el grabado; pero si se ha de trasmitir la palabra á cierta distancia, por ejemplo á los diferentes puntos de un salon, se reemplaza el tubo del receptor por una gran trompetilla resonadora ó porta-voz. La potencia de este teléfono estriba en la fuerza magnética de su iman, en las grandes dimensiones de la placa vibrante y en la caja metálica sonora que amplifica los sonidos emitidos.

El teléfono Ader, cuyas diferentes partes están representadas en la fig. 350, ya en seccion ó ya exteriormente, se distingue especialmente del de Bell por la adicion de una pieza

de hierro dulce XX en forma de anillo, que sirve de armadura excitadora. El iman, que es circular, tiene sus dos polos rodeados de hélices BB, como el teléfono Gower, y van á parar enfrente del anillo, delante de la placa que constituye el diafragma. La armadura tiene por objeto aumentar con su masa la intensidad de las reacciones magnéticas entre el diafragma y los polos del iman, y por consecuencia, de las corrientes inducidas desarrolladas en los hilos de los carretes por los movimientos vibratorios de la placa.

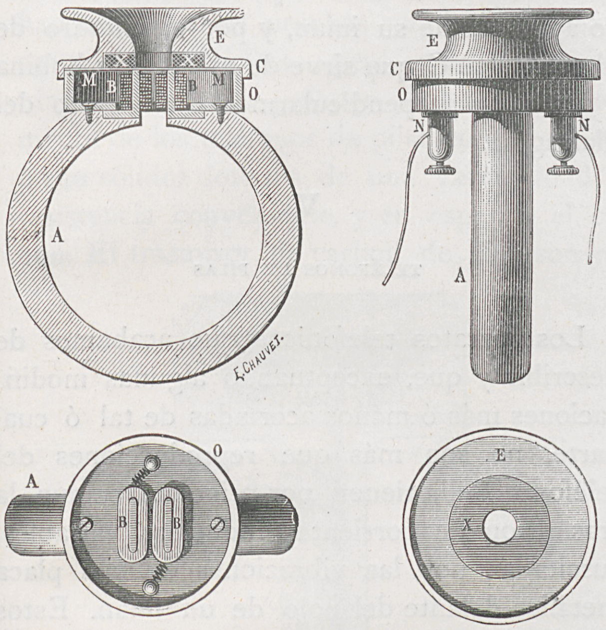


Fig. 350.—Teléfono Ader

El sistema Ader funciona sobre todo como receptor, y en este caso se hace uso de un trasmisor microfónico, segun veremos más adelante al tratar de los teléfonos de pilas. Pero tambien se le puede emplear utilizando el mismo aparato como trasmisor y como receptor, y entónces funciona sin pila, como el teléfono Bell.

Para terminar este artículo haremos mencion de los sistemas de teléfonos de diafragmas múltiples. El objeto que se han propuesto los inventores de estos aparatos consiste en aumentar la intensidad de las corrientes desarrolladas por la influencia de la voz; para esto, hacen que en la embocadura ó en la envolvente del trasmisor ejerzan las vibraciones del aire una reaccion en dos ó muchos diafragmas aislados, armado cada cual de su órgano electromagnético.

Unas veces, como en el teléfono de Elisha Gray, son dos teléfonos Bell acoplados con una embocadura comun E y dos conductos á derecha é izquierda los cuales van á parar á un diafragma que vibra enfrente del polo A del iman de herradura U; otras veces, como en el sistema Trouvé, hay un iman tubular colocado perpendicularmente á los dos diafragmas, uno de los cuales lleva en su centro un agujero *a* del mismo diámetro que la parte hueca del iman, que está envuelto en toda su longitud por una hélice. Otras series de láminas vibrantes *n n n* se hallan colocadas entre las primeras y en una direccion paralela. Hé aquí cuáles son, segun M. Trouvé, las ventajas de esta disposicion:

«Aplicando el oido á *a* se perciben directamente los sonidos producidos por la primera placa M, y los de la segunda llegan á él por el interior del tubo iman. Esta nueva disposicion es muy á propósito para comparar prácticamente los resultados dados por un teléfono de una sola membrana, como el de Bell, y los de un teléfono de varias membranas; pues, en efecto, basta escuchar alternativamente en las dos caras de este teléfono para advertir al punto la diferencia de intensidad de los sonidos percibidos. Recogidos estos en *a*, del lado de la membrana agujereada, parecen de doble intensidad que los recogidos en *b* del lado de

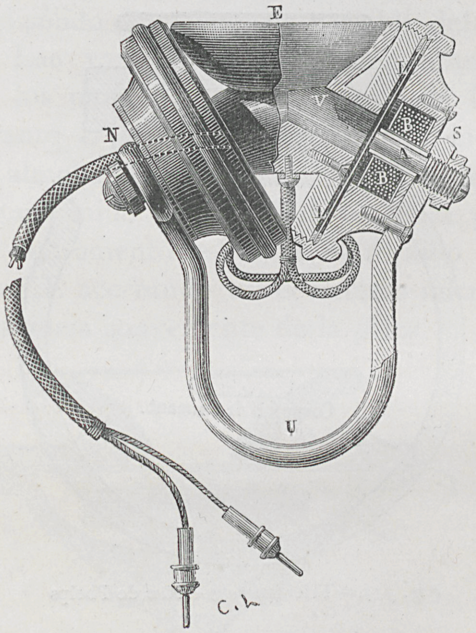


Fig. 351.—Teléfono Gray de doble diafragma

la membrana entera que constituye el teléfono ordinario.

»Esta diferencia es mucho más marcada si, al trasmitir ó recibir un sonido de invariable

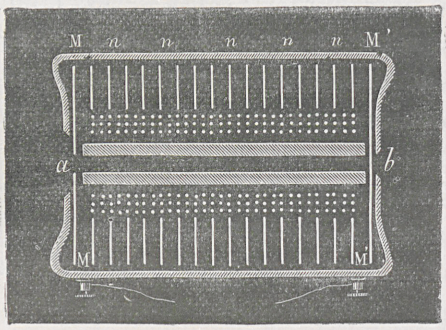


Fig. 352.—Sistema de diafragmas múltiples de Trouvé

intensidad al través de un teléfono múltiple, se impide varias veces que vibre la membrana M'.»

En lugar de multiplicar las placas vibrantes, se ha discurrido tambien aumentar el número de imanes sobre que éstas actúan. Entre los aparatos de este género citaremos el *crown-telephone* ó *teléfono de corona* de M. Phelps, cuyo

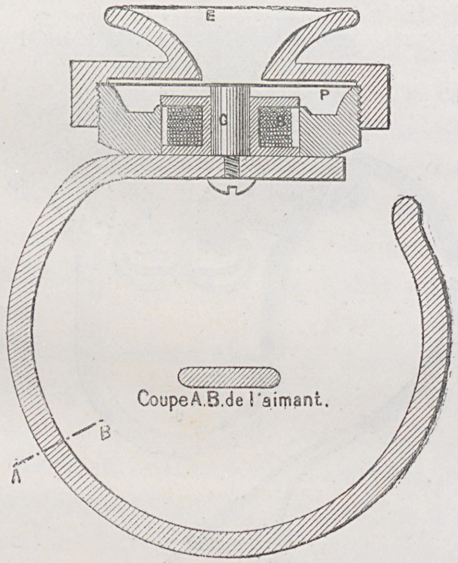


Fig. 353.—Teléfono *pony-crown* de Phelps

nombre procede de la forma exterior que le dan seis imanes á modo de anillo. Los seis polos del mismo nombre de estos imanes convergen hácia el centro del diafragma del teléfono, al paso que los otros seis polos se apoyan en el borde exterior del mismo disco. De este modo el campo magnético resulta extendido y reforzado, aumentando la potencia del instrumento. Hay que suponer sin embargo que la ventaja de esta disposicion no es muy grande, porque el mismo inventor ha sustituido su teléfono con el *pony-crown* (fig. 353), que difiere solamente del de Bell por la forma de anillo aplanado de su iman, y por el cilindro de hierro dulce G que sirve de núcleo á la bobina y se coloca perpendicularmente al centro del diafragma.

V

TELÉFONOS DE PILAS

Los aparatos telefónicos que acabamos de describir y que, exceptuando algunas modificaciones más ó ménos acertadas de tal ó cual parte, no son más que reproducciones del teléfono Bell, tienen por principio comun la trasmision de corrientes inducidas variables, suscitadas por las vibraciones de una placa metálica delante del polo de un iman. Estos son los llamados *teléfonos magnéticos*, que, desde el punto de vista de la repeticion de los sonidos articulados en una línea perfectamente aislada, funcionan todo lo bien posible.

Pero en la práctica, en que los hilos conductores de las líneas telefónicas de alguna longitud experimentan perturbaciones de todo género, efectos de induccion causados por los hilos inmediatos, derivaciones por los postes y por la tierra, influencia de las corrientes telegráficas, etc., es raro que funcionen bien los teléfonos ordinarios; la intensidad de las corrientes inducidas es demasiado débil para que el trabajo mecánico de la voz no haya perdido en gran manera de su valor al llegar á los aparatos receptores. Los sonidos reproducidos son más débiles que los del trasmisor, y en todo caso no pueden aventajarlos en intensidad.

Se ha procurado obviar ó vencer esta dificultad. Para ello, en vez de utilizar las vibraciones de la placa del trasmisor en engendrar las corrientes cuyas variaciones se han de dirigir al conductor, se las emplea solamente en producir las mismas variaciones en una corriente tomada de una generatriz independiente, de una pila. Así pues, las modificaciones que se han de introducir en el aparato tienen relacion tan sólo con el trasmisor, en cuya composicion debe entrar una materia

especial, susceptible de una resistencia eléctrica variable, cuando recibe las vibraciones del trasmisor. Esta materia, colocada en el circuito de la pila, puede ser un líquido ó un sólido. Se han hecho varias pruebas con los líquidos, el agua, el mercurio, etc.; pero como no han dado ningun resultado práctico, hablaremos solamente de los teléfonos de pilas en que se emplean sólidos dotados de una variabilidad de resistencia conveniente, y en especial el carbon. El trasmisor de carbon de Edisson y el

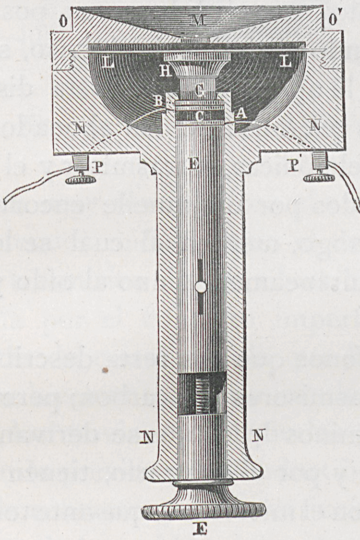


Fig. 354.—Trasmision del teléfono de carbon de Edison

micrófono de Hughes han sido inventados con dos años de diferencia, en 1876 y 1878, y ambos han dado la solucion del problema. Más adelante hablaremos del micrófono; ocupémonos ahora del teléfono de carbon; pero ántes de describirlo no omitamos decir que somos deudores á nuestro compatriota M. Du Moncel del descubrimiento del principio científico en que se basa la construccion del trasmisor de carbon de Edisson, así como la del micrófono Hughes, segun lo ha reconocido el ilustrado físico inglés sir W. Thomson. Este principio puede enunciarse como sigue: *La presion ejercida en el punto de contacto entre dos cuerpos conductores apoyados uno en otro puede influir considerablemente en la intensidad eléctrica desarrollada*, y tambien: *El aumento de la intensidad de una corriente con la presion ejercida en el punto de contacto es tanto mayor cuanta más resistencia presentan los conductores y cuanto más ó ménos duros y limpios estén estos.*

El primitivo trasmisor de carbon de Edison (fig. 354) sólo se parece exteriormente al teléfono Bell. Hé aquí cuál es su disposicion interior: A y B son dos láminas tenues de platino, enlazadas á los botones de empalme del circuito P y P'. Entre estas láminas hay un disco de carbon C, obtenido comprimiendo ligeramente negro de humo procedente de la combustion de lámparas de petróleo en un recinto cerrado. Esta pasta de carbon, intercalada como se acaba de ver en el circuito de la pila, constituye el sólido de resistencia variable del trasmisor. Las variaciones de presion ocasionadas por los movimientos vibratorios de la placa vibrante L L son trasmitidas por medio de una almohadilla formada de un disco de corcho H y un anillo de cautchuc G. Para graduar este instrumento se mueve el tornillo F y el piston E acercando así el sistema microfónico á distancia conveniente de la placa.

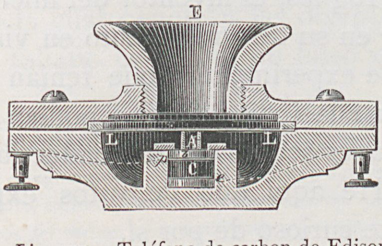


Fig. 355.—Teléfono de carbon de Edison

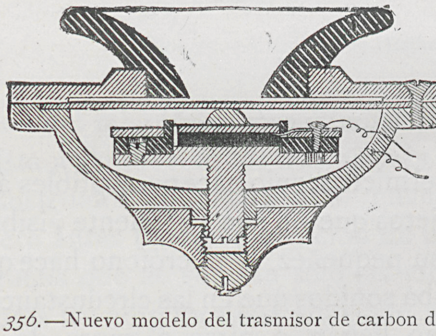


Fig. 356.—Nuevo modelo del trasmisor de carbon de Edison

En el modelo representado en la figura 355 se ha suprimido el mango del aparato y se hace la graduacion por medio de un tornillo situado debajo de *e*. La lámina de platino está apoyada en el conductor de carbon C por un disco *b* de aluminio, sobre el cual hay un pequeño cilindro de hierro A en contacto con la placa vibrante L L.

Finalmente, la última modificacion introducida por Edison en su trasmisor es la representada en la figura 356. El disco de carbon está sobre un soporte que se separa ó acerca

á la placa vibrante con un tornillo, efectuándose el contacto en el centro de esta por el intermedio de una lámina de platino rematada en un botoncito de marfil.

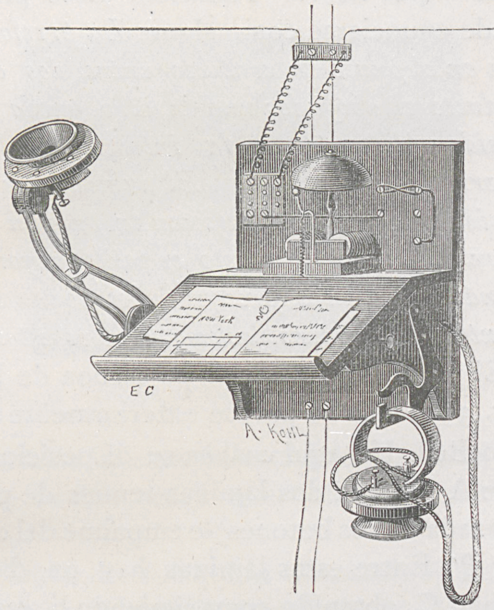


Fig. 357.—Aparatos de una estacion telefónica del sistema Edison

El receptor es el mismo que hemos descrito anteriormente con el nombre de *pony-crown*. Es de notar que las corrientes de la pila, despues de sufrir las variaciones que les comunica a placa vibrante por medio del conductor de resistencia variable, no van á parar directamente al receptor; sino que atraviesan el hilo inductor de un pequeño carrete de induccion, siendo el hilo inducido el que se pone en relacion con el aparato receptor. La figura 357 muestra cómo están dispuestos los aparatos de este sistema en una estacion telefónica: á la izquierda se ve el trasmisor sobre un soporte articulado que permite mantenerlo con una inclinacion conveniente á la altura de la boca del expedidor; debajo del pupitre y á la derecha está el *pony-crown* receptor suspendido en su posicion de reposo; cuando el timbre da el aviso, se le descuelga y se le aplica al oído. Esta disposicion es la de los teléfonos de los abonados; en las estaciones telefónicas, el trasmisor y el receptor están reunidos por un muelle encorvado que sirve de mango, merced al cual se los puede aplicar simultáneamente, uno al oído y el otro á la boca.

Los teléfonos que nos resta describir tienen tambien trasmisores de carbon; pero difieren en tales términos de los que se derivan del trasmisor Bell, y por el contrario, tienen tales semejanzas con el micrófono, que ante todo vamos á describir este aparato, cuyo inventor es M. Hughes.

CAPITULO VIII

EL MICROFONO.—EL FOTOFONO

I

EL MICRÓFONO

Así como el microscopio hace perceptibles á la vista los objetos que no son fácilmente visibles á causa de su pequeñez, el micrófono hace que el oído perciba sonidos que en las circunstancias ordinarias no llegan á oirse á causa de su escasa intensidad. Más generalmente hablando, es un amplificador de las vibraciones sonoras ó mejor aún, de los efectos mecánicos que las acompañan (1).

M. Hughes, el inventor del micrófono, vino á parar en su descubrimiento en virtud de una serie de experimentos que tenian por objeto averiguar la influencia que podian ejercer las vibraciones sonoras en la conductibilidad eléctrica. Hé aquí uno de estos experimentos, bastante curioso de por sí.

Sobre una tablita horizontal se ponen dos clavos de hierro, dos puntas de Paris, á corta distancia uno de otro (fig. 358), y se los une á

(1) No debe creerse que la analogía del microscopio y del micrófono sea otra que la de los efectos producidos, por más que sus nombres se parezcan. Nada prueba que los sonidos mismos son los amplificados. Aun cuando la teoría del micrófono está tan incompleta como la del teléfono, parece probable que en él haya una trasformacion de movimientos moleculares en vibraciones sonoras más bien que una verdadera amplificacion.

los dos hilos del circuito de una pila, que comprende tambien un receptor telefónico. Si se cierra el circuito con un tercer clavo puesto transversalmente sobre los otros dos, se tiene

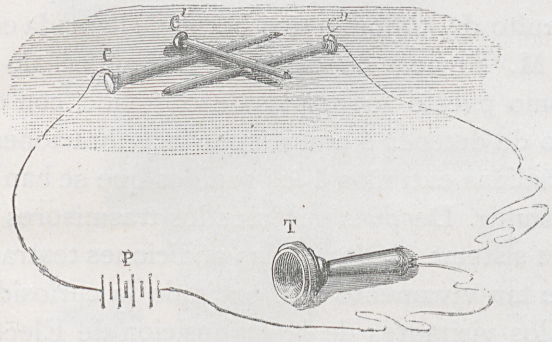


Fig. 358.—Experimento de M. Hughes

un sistema muy sensible, con el cual se podrán percibir tenues ruidos, como el de la respiracion. La trasmision de las vibraciones sonoras se efectúa por el contacto imperfecto de las dos puntas de metal con la que las une y las comprime levemente; comunicándose á los conductores los movimientos que las constituyen, modifican la presion y la conductibilidad en los puntos de contacto, y estas variaciones que siguen á las de los ruidos, á las de cualesquiera sonidos emitidos á corta distancia, trasforman en el hilo las corrientes de la pila, y van á actuar sobre el receptor del teléfono.

M. Hughes reconoció que era ventajoso emplear, en vez de contactos metálicos, el carbon que ejerce una presion ligera y constante sobre los contactos, y es además inoxidable (1). Hé aquí cómo dispuso su micrófono: A y B (fig. 359) son unos cubos de carbon puestos uno sobre otro contra una madera M. Ambos tienen una cavidad en la cual penetran las dos puntas de un carbon tallado en forma de huso que á la menor sacudida se mueve en la cavidad superior, alrededor de su posicion de equilibrio instable que es la vertical. Cada cubo está provisto de un contacto metálico y unido al circuito de una pila P, en el cual hay además intercalado un teléfono T. Este sencillo aparato descansa en una peana de madera.

Cuando se quiere hacer uso del micrófono, importa poner la peana sobre una almohadilla ó sobre bandas ó tubos de cautchuc, para interceptar ó amortiguar cualquier vibracion extraña. Hecho esto, el aparato es de asombrosa sensibilidad para los ruidos más tenues. El tictac de un reloj de bolsillo, los rumores apénas perceptibles, como los que produce el movimiento de las patas de un insecto en el platillo, retumban en el receptor del teléfono con increible sonoridad.

Se ha variado de muchos modos la disposi-

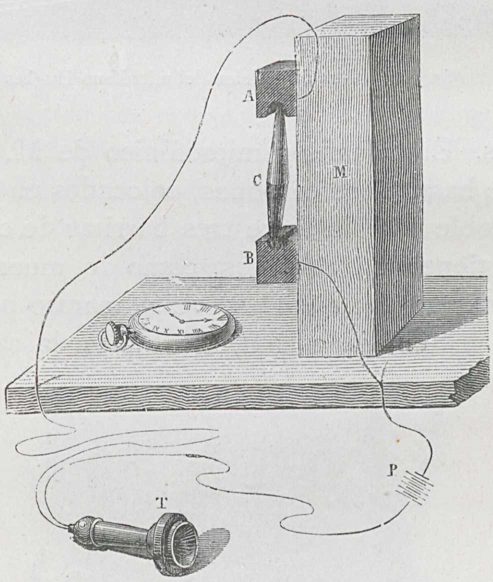


Fig. 359.—Micrófono de Hughes

cion del micrófono, por lo cual pasaremos revista á algunos de los trasmisores microfónicos construidos con arreglo al mismo principio. Pero ántes haremos mencion de un hecho que prueba que no son tan sólo las vibraciones sonoras las amplificadas, sino que son los movimientos mecánicos los que se comunican á los carbones y hacen variar la conductibilidad eléctrica por los contactos. Cuando se suspende la caja que contiene el aparato microfónico (modelo de M. Trouvé), apénas se oye el ruido de los objetos, sea reloj ó insecto, situados en la peana; por el contrario, entónces las vibracio-

(1) «Aleando el mercurio con carbon, dice M. Hughes, los efectos son mejores. Para esto me valgo del carbon que usan los artistas para dibujar, lo caliento gradualmente al blanco, y sumergiéndolo de pronto en mercurio, introdúcese instantáneamente este metal en glóbulos en los poros del carbon y lo metaliza por decirlo así. He probado tambien el carbon recubierto de una capa de platino ó impregnado de cloruro de este mismo metal, pero no he obtenido mejores efectos de los que me resultaban con el método anterior. El carbon de abeto calentado al rojo blanco en un tubo de hierro que contenga estaño y zinc ó cualquier otro metal que se evapore fácilmente resulta asimismo metalizado, y está en buenas condiciones si el metal se halla en estado de gran division en los poros de este cuerpo, ó si no entra en combinacion con él. El hierro introducido de este modo en el carbon es uno de los metales que me han dado mejores efectos. Aunque el carbon de abeto es mal conductor, adquiere de este modo un gran poder conductor.»

nes sonoras trasmitidas por el aire, como las de la voz, tienen más claridad.

Se han multiplicado los contactos con el objeto de aumentar la sensibilidad de los trasmi-

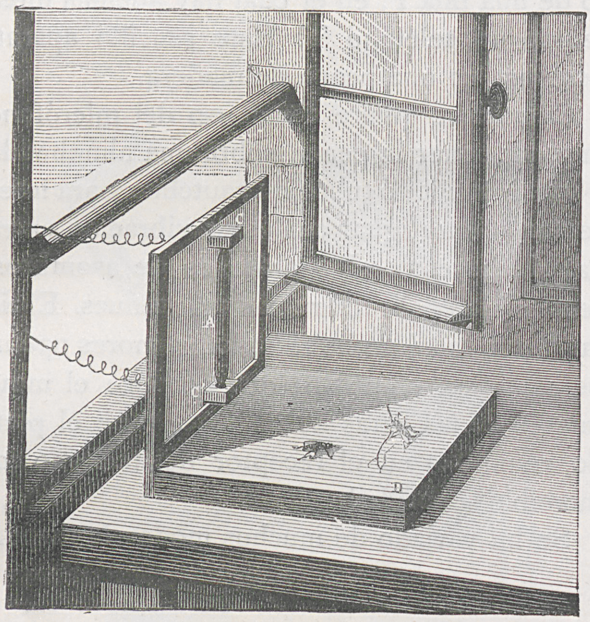


Fig. 360.—Otra disposicion del micrófono Hughes

sores. El trasmisor microfónico de M. Ader tiene hasta doce carbones, colocados en forma de doble parrilla entre tres barritas de carbon que tienen 24 agujeros, como lo muestra la figura 361, en la cual se ve el aparato por debajo. El enrejado E E está fijo en la cara inferior de una tablita de abeto D (fig. 362) que forma como la cubierta inclinada de un pupitre. En B se ve la bobina de induccion del trasmisor. C es un gancho de suspension que sirve al mismo tiempo de conmutador para el circuito del timbre, cuyo boton de llamada está en M. El aparato descansa en un zócalo de plomo puesto sobre piés de cautchuc, con objeto de detener ó amortiguar las vibraciones ó sacudidas extrañas á los sonidos que se han de trasmitir. Despues veremos los trasmisores de este sistema usados en las audiciones teatrales que tan vivamente han excitado la curiosidad de los visitantes de la Exposicion de Electricidad en el otoño de 1881.

Las barritas de carbon del micrófono de MM. Paul Bert y Arsonval están agrupadas en cantidad. Hé aquí, segun Du Moncel, la descripcion de los tres sistemas combinados por los inventores y que están representados en las figs. 363, 364 y 365.

«El de la fig. 363 se compone de una serie de barras de carbon enfiladas verticalmente en dos placas llenas de agujeros que les sirven de guía. Su parte inferior penetra en un baño de mercurio contenido en el tubo, y ejerciendo este líquido un empuje igual sobre cada una de ellas, constituye un muelle bastante suave. La parte superior de estos mismos carbones se

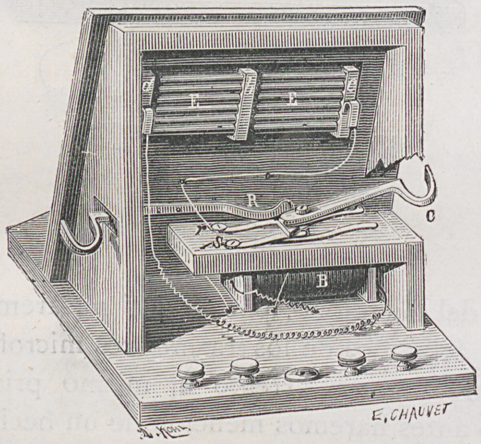


Fig. 361.—Trasmisor microfónico Ader

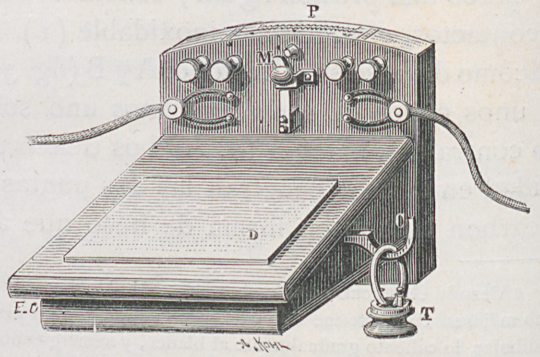


Fig. 362.—Vista exterior del trasmisor Ader

apoya ligeramente sobre un diafragma metálico niquelado ó platinado que recibe las vibraciones de la voz. La corriente entra por la membrana, baja dividiéndose entre los carbones y sale por el baño de mercurio.

»La presion de los carbones contra el diafragma se regula fácilmente variando el nivel del mercurio en el tubo, y además es la misma para cada carbon, lo cual constituye una de las buenas condiciones de construccion de estos aparatos. Este instrumento ha dado buenos resultados, pero como el uso del mercurio era poco práctico, los señores Bert y Arsonval han debido buscar una combinacion más sencilla, y

han discurrido las que presentamos en las figuras 364 y 365, fundadas en los efectos de la gravedad; sin embargo, estos modelos no son aplicables sino en buenas condiciones. Uno de

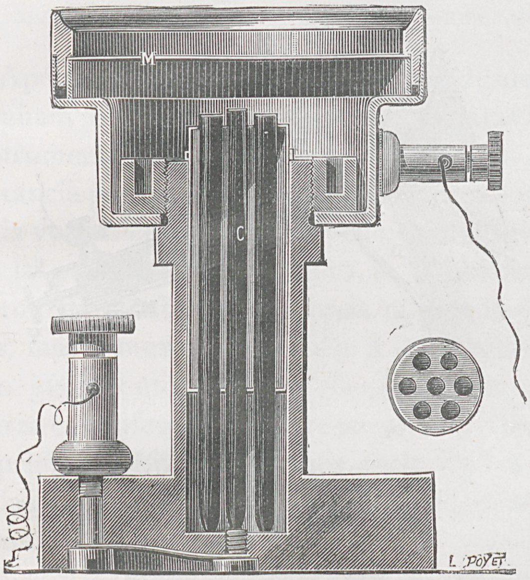


Fig. 363.—Micrófono de Bert y Arsonval

ellos, el de la fig. 458, puede trasmitir la palabra á gran distancia, con facilidad para la persona que habla de que no la oiga la que esté á su lado. El otro, por el contrario, en vez de no dar paso á los ruidos exteriores, recoge la palabra ó el canto á bastante distancia de su punto de emision.

»El primero de estos dos sistemas se compone de un diafragma vibrante niquelado ó platinado, en el cual descansa perpendicularmente á su superficie una serie de barritas de carbon enfiladas en tubos niquelados, los cuales corren libremente por dos anillos atravesados de agujeros, siendo la longitud de los carbones de algunos milímetros solamente; estos carbones son, pues, buenos conductores. Al través de los dos anillos citados pasa un tubo central terminado exteriormente en una embocadura y cuya extremidad opuesta C va á parar al centro de la membrana.

»Este tubo trasmite al diafragma las vibraciones de la voz recogidas por la embocadura. El diafragma está fijo, en una caja de cautchuc endurecido, y el anillo de sujecion recibe la corriente que se comunica en seguida á los carbones, y de allí á los anillos, los cuales la conducen al pié del aparato. Este pié, que es enteramente metálico, tiene una charnela gracias á la cual se puede inclinar más ó ménos el

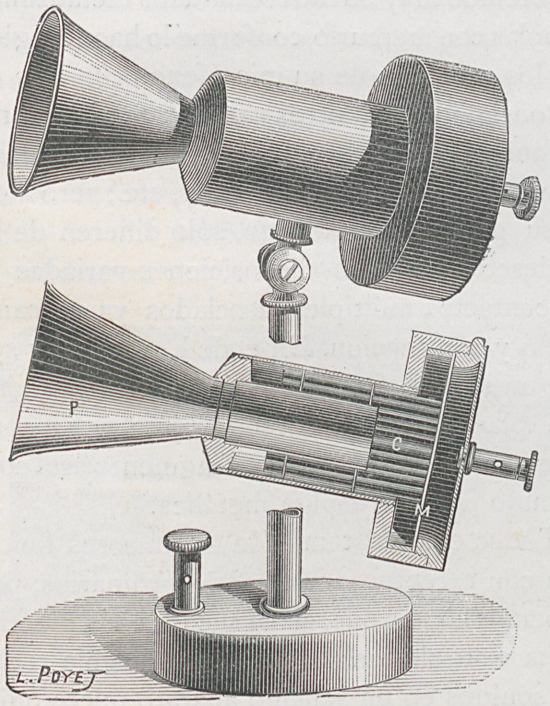


Fig. 364.—Micrófono Bert y Arsonval (segundo sistema)

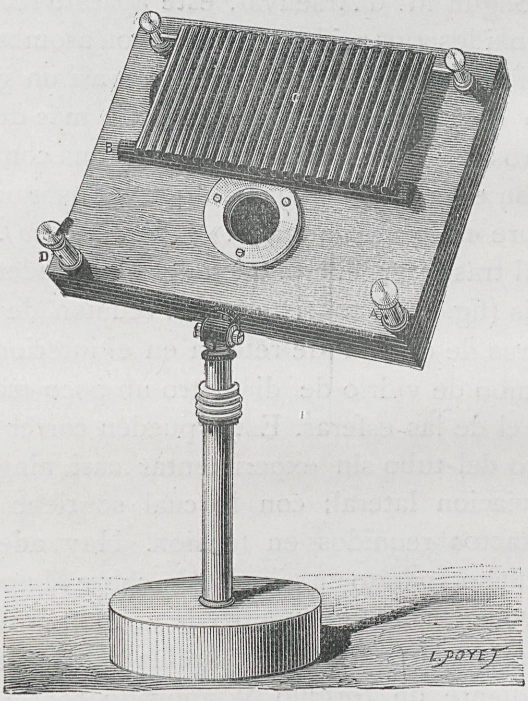


Fig. 365.—Micrófono Bert y Arsonval (tercer sistema)

instrumento, pudiéndose así variar sencillamente la presion de los carbones sobre el diafragma. Por el trasmisor de que nos ocupamos pueden pasar sin dificultad corrientes cuya intensidad sea de 15 á 20 ampères, y la voz produce variaciones de $^1/_3$ á $^1/_2$ ampère, bastantes para poner en accion muchos aparatos Morse. En estos conductores la voz se trasmite con gran intensidad.

»Naturalmente, con este sistema se emplea

un carrete de induccion, y como aparato receptor un teléfono comun.

»El segundo sistema, representado en la figura 366, está basado exactamente en el mismo principio. Compónese de una caja resonante parecida á la de los instrumentos de cuerda, ó de una ligera tabla de ebonita ó de abeto que lleva la serie de contactos, los cuales consisten en una serie de pequeños cilindros de carbon niquelados, enfilados en un eje comun metálico que cae verticalmente sobre una de las caras de la caja. Su movimiento es independiente, y cada uno de ellos se apoya en una barrita trasversal de carbon que sirve de colector y que recibe las vibraciones de la caja de resonancia ó de la tabla. La presion de los carbones sobre el colector es más ó ménos fuerte, segun la inclinacion que se dé á la caja, que puede montarse sobre un pié de charnela ó suspenderse en una sala de los dos hilos que le llevan la corriente. Esta llega por el eje superior, se divide entre los carbones y sale por el colector. El número de los contactos puede ser tan grande como se quiera, lo propio que las dimensiones de la caja.

»Segun M. d'Arsenval, este aparato recoge los sonidos y los ruidos más leves con asombrosa facilidad y constituye por decirlo así un gran oído de extraordinaria sutileza. A más de 10 metros del instrumento se percibe una conversacion en voz muy baja, sin que sed esfigure el timbre en lo más mínimo.» *(El Teléfono).*

El trasmisor microfónico de M. Baudet de Paris (fig. 366) consiste en la reunion de seis esferas de carbon de retorta en el interior de un tubo de vidrio de diámetro un poco mayor que el de las esferas. Estas pueden correr á lo largo del tubo sin experimentar casi ninguna desviacion lateral; con lo cual se tiene seis contactos reunidos en tension. Hay además en dicho aparato un cilindro de cobre M apoyado por un lado en el centro de un diafragma de ebonita adaptado á una boquilla telefónica E. Mediante un tornillo V apoyado contra una pieza K de cobre, se puede apretar más ó menos una pequeña maza M^2 de cobre contra la última bola del tubo, sirviendo así para arreglar el aparato. Los hilos de la pila y del circuito telefónico están empalmados á los tornillos B y B' que comunican metálicamente con las masas M^1 y M^2. El tubo está montado sobre un pié articulado, pudiendo así darle, como á un anteojo, todas las inclinaciones posibles. Las variaciones de resistencia producidas por

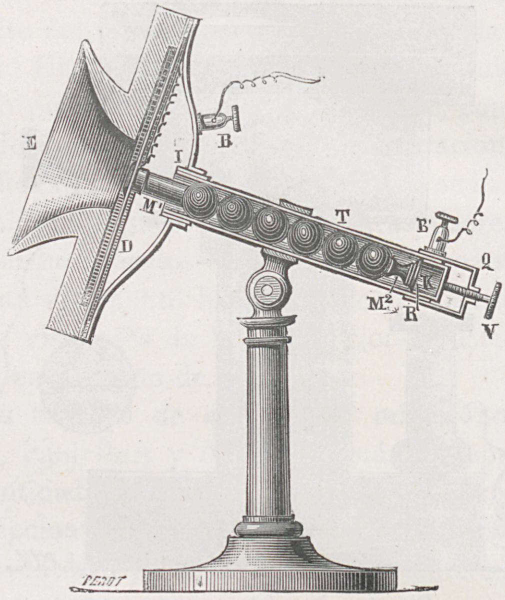


Fig. 366.—Micrófono de M. Boudet

las vibraciones se comunican instantáneamente á todas las esferas, como sucede en el conocido experimento de las bolas elásticas. El inventor ha obtenido muy buenos resultados metalizando las bolas con mercurio, conforme lo hace Hughes con los carbones de su micrófono.

Podríamos citar otros varios trasmisores microfónicos de carbon, como los de Maiche, Gower-Bell, Herz, Locht-Laby, etc.; pero siendo su principio el mismo, sólo difieren de los ya descritos en las disposiciones variadas de los contactos múltiples, asociados ya en cantidad ó ya en tension. En el de Locht-Laby sólo hay un simple fragmento de carbon pegado á una planchuela de corcho sujeta por ligeros muelles á un marco, y cuyo fragmento está comprimido por una espiga metálica.

Todos estos sistemas de trasmisores funcionan con receptores telefónicos ordinarios; pero debemos añadir que, si así sucede en la práctica, se ha visto sin embargo que era posible recibir los sonidos en un sencillo aparato microfónico, hecho extraordinario que confirma la teoría que admite, con respecto á los fenómenos que ocurren en el teléfono y el micrófono, el predominio de los movimientos moleculares de las sustancias empleadas. Esto nos induce á decir que se ha podido trasmitir la palabra con teléfo-

nos sin placas vibrantes, del propio modo que en su orígen se trasmitian sonidos musicales.

II

APLICACIONES DEL TELÉFONO Y DEL MICRÓFONO

Apénas han trascurrido seis años desde que Graham Bell presentó al público el maravilloso instrumento con el cual se trasmiten á larga distancia por medio de la electricidad los sonidos de la voz articulada. Cien invenciones derivadas de la primera han resuelto el problema en virtud de combinaciones más ó ménos variadas, más ó ménos apropiadas á las condiciones que los inventores se habian impuesto, pero, fuerza es confesarlo, sin aventajar en perfeccion al primer teléfono. Réstanos decir algo acerca de las varias aplicaciones de los aparatos telefónicos.

Habríase podido esperar que el teléfono estaria llamado á suceder al telégrafo eléctrico, pues, en efecto, este sistema de correspondencia ofrece una gran ventaja sobre el primero, la cual consiste en que para servirse de él no se requiere instruccion prévia, al paso que los aparatos telegráficos más sencillos no funcionan sino manejados por empleados que han debido hacer un aprendizaje metódico, á veces bastante largo y difícil. Mas junto á esta ventaja, que no es de desdeñar, la correspondencia telefónica tiene graves inconvenientes; siendo el primero de todos, del que tambien adolecen los telégrafos de cuadrante, el que no deja rastro alguno de

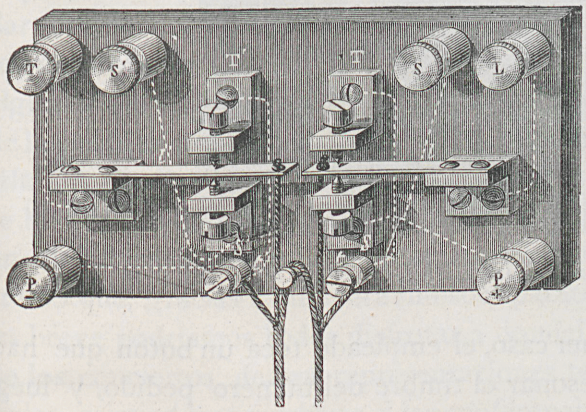


Fig. 367.—Suspension de los teléfonos: sistema Pollard y Garnier

los despachos trasmitidos. Otro de sus defectos consiste en la lentitud relativa de las comunicaciones: en los capítulos anteriores hemos visto los esfuerzos hechos para conseguir, merced á aparatos perfeccionados, sistemas automáticos, duplex, telégrafos impresores múltiples, etc., la rapidez de trasmision tan necesaria en las líneas de mucho servicio. Pues bien, el teléfono no puede rivalizar por este concepto con los

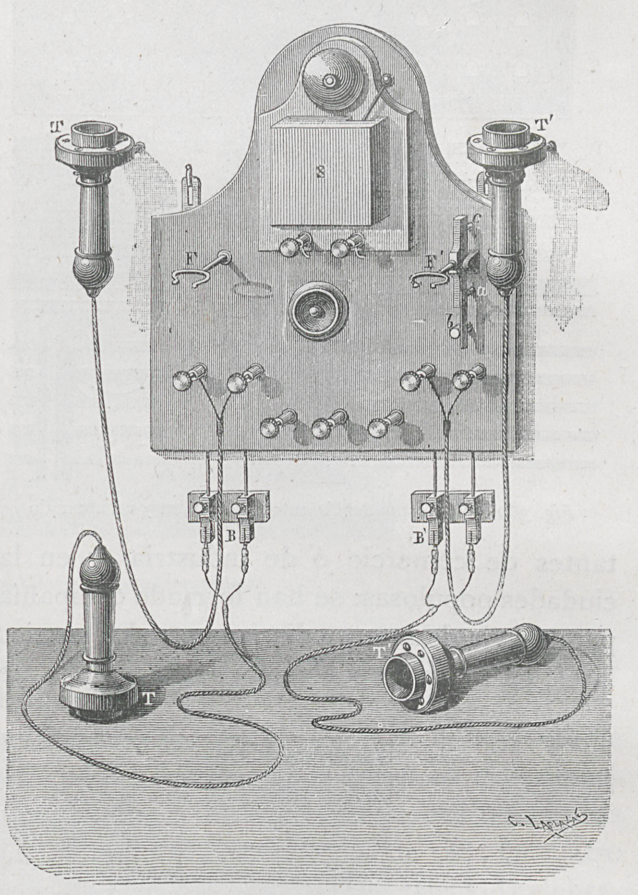


Fig. 368.—Suspension de los teléfonos: sistema Bréguet y Roosevelt; S, timbre; FF', ganchos de suspension; *c a b*, conmutador de báscula, para poner el timbre en comunicacion con la línea, cuando el teléfono está colgado del gancho de suspension

aparatos en cuestion. Por último, este sistema está sujeto á perturbaciones que hemos indicado ligeramente, y que dependen de las pérdidas de corrientes en las líneas, de las influencias de los hilos contiguos y de las mezclas de signos producidos por las derivaciones de las corrientes inmediatas.

Parece, pues, por lo expuesto que la correspondencia telefónica no será jamás temible rival de la telegrafía eléctrica; á pesar de lo cual no ha dejado de conquistar gran importancia práctica, en condiciones puramente especiales. Las instalaciones telefónicas pueden prestar y prestan efectivamente apreciabilísimos servicios en las grandes oficinas, en el ejército, en la marina, en los talleres, en las minas, en los puertos comerciales, etc.: donde quiera que hay muchas órdenes que trasmitir, este sistema es

preferible en alto grado á la telegrafía eléctrica, por la razon ya alegada de que cualquiera puede trasmitir ó recibir las órdenes en cuestion. El teléfono es hoy de rigor en los centros importantes de comercio ó de industria, y en las ciudades populosas: se han formado compañías para servir de intermediarias entre los particulares; en todas las poblaciones algo importantes de los Estados Unidos é Inglaterra, y en las grandes ciudades del continente europeo aumenta de dia en dia la clientela de las estaciones telefónicas, aumento que será más marcado en lo futuro.



Fig. 369.—Correspondencia entre la estacion y un abonado

No podemos entrar en todos los detalles que serian necesarios para dar á entender cómo puede funcionar semejante instalacion; sin embargo, procuraremos dar una sucinta idea de ella.

La mision de una oficina telefónica consiste en poner en relacion á todos los suscritores de una misma ciudad. Cada uno de estos tiene una línea especial que va á parar al timbre de la estacion central: entónces se pone en actividad un electro-iman correspondiente al número del suscritor, ciérrase el circuito local del timbre y cayendo al propio tiempo una placa que produce un ruido seco, descubre el número del suscritor que llama. Debajo de la ventanilla que lleva los números de los suscritores puestos por órden con sus placas indicadoras, están los conmutadores con los cuales se pone en mutua comunicacion á dos suscritores cualesquiera, ó á uno de estos con la oficina. Al sonar la llamada, un empleado empalma el hilo de su teléfono á una barra de cobre que corresponde á la línea especial y se entabla la conversacion. El suscritor puede pedir que se le ponga en comunicacion con otro cualquiera de la misma estacion, ó con otra de estas establecida en la misma ciudad. En el primer caso, el empleado toca un boton que hace resonar el timbre del número pedido, y luégo pone en comunicacion los dos números con un hilo, quedando así establecida la correspondencia entre los dos suscritores. Si los que se han de poner en relacion no pertenecen á la misma oficina, se les hace corresponder por medio de una comunicacion eléctrica de una estacion

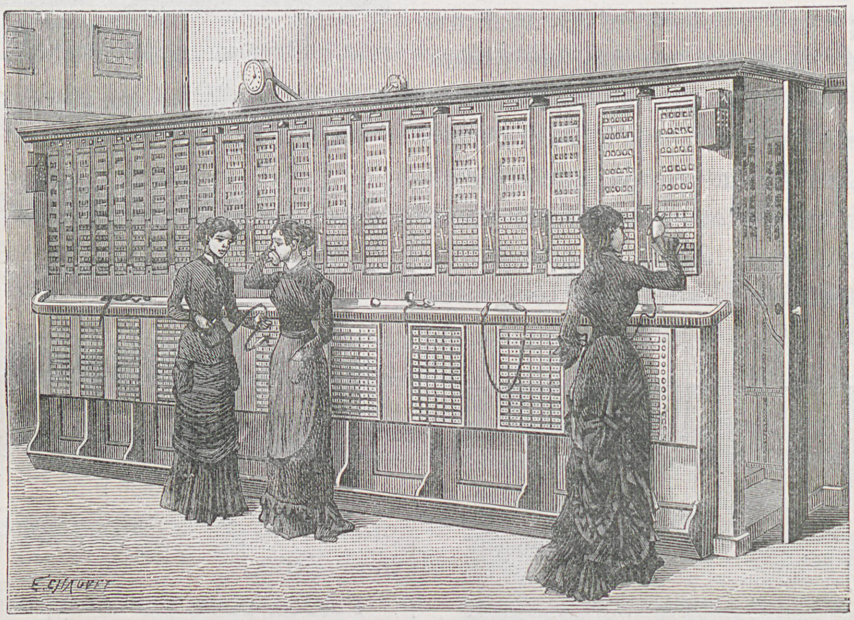


Fig. 370.—Estacion telefónica central en Paris

á otra, y aunque así haya un intermediario más, no por eso deja de ser fácil la correspondencia.

Para la instalacion de un sistema de estaciones telefónicas en una gran ciudad (en Paris hay diez con una central) ha habido que resolver minuciosos problemas de mecánica eléctrica;

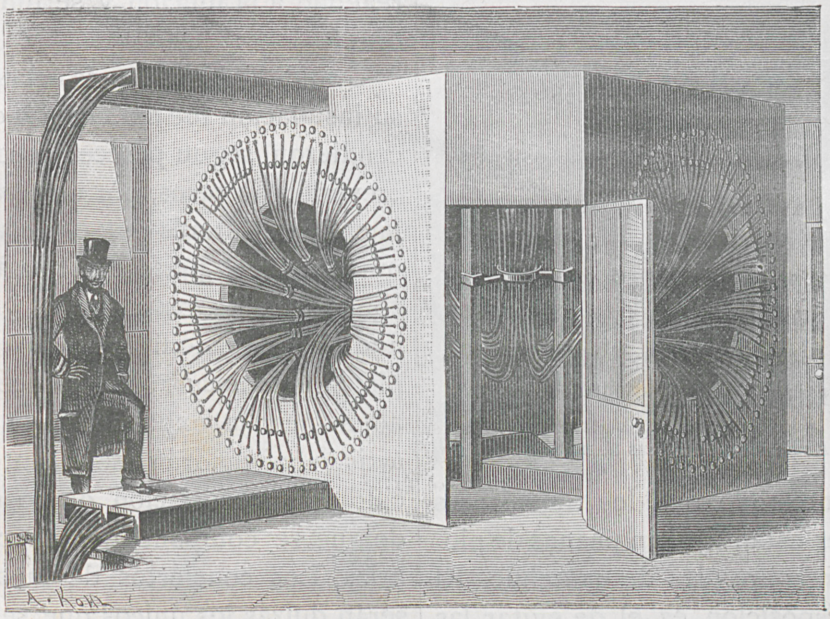


Fig. 371.—Sala de entrada de los hilos en la estacion central

cuyas soluciones merecian ser descritas; pero como no tenemos suficiente espacio para ello, debemos remitir al lector á las obras especiales.

III

AUDICIONES TEATRALES

La telefonía ha sido en sus comienzos objeto del entusiasmo, mejor dicho, degeneró en esa monomanía que se manifiesta naturalmente siempre que se hace pública una invencion importante é inesperada. Al punto se le quiso dar una porcion de aplicaciones más interesantes unas que otras. Hemos hecho mencion de algunas de las que han pasado ya al terreno de la práctica, al ménos en las grandes ciudades: fáltanos añadir algo acerca de las pruebas que se han hecho en otro sentido para responder á uno de los deseos del primer momento. Habíase creido que, gracias á tan maravillosos aparatos, en breve podríamos todos disfrutar á domicilio de los conciertos, de las representaciones teatrales, asistir á las asambleas, á las conferencias, á los sermones, etc., sin tener que apartarse del rincon del hogar. Se han efectuado ensayos y experimentos que han demostrado efectivamente que estas aplicaciones de la telefonía no eran irrealizables; pero de esto á podérselas considerar como realmente prácticas, hay mucha distancia.

No podemos pasar en silencio el más notable así como el más decisivo de estos experimentos; nos referimos á las audiciones telefónicas que se organizaron en otoño de 1881 en cuatro salas de la Exposicion de Electricidad celebrada en el Palacio de la Industria. Un público numeroso é impaciente pudo oir todas las noches las funciones del teatro de la Opera, y escuchar la voz de los cantantes, los acompañamientos de la orquesta, y hasta los murmullos y aplausos de los espectadores.

Los aparatos adoptados para estas audiciones eran los teléfonos del sistema microfónico de Ader, cuyos receptores y trasmisores hemos descrito. La distancia que mediaba entre el teatro y las salas de audicion era de dos kilómetros, habiendo bastado un trasmisor para animar con una pila á propósito cuatro dobles teléfonos ú ocho receptores de sobrexcitacion.

A cada lado de la concha del apuntador y á lo largo del proscenio habia doce trasmisores, cada uno con su pila y su bobina de induccion (fig. 372), puestos en comunicacion por medio de hilos subterráneos con los receptores de las salas de audicion; nada tendríamos que añadir á estas indicaciones generales, si no fuese con-

veniente entrar en algunos detalles acerca de las precauciones tomadas para hacer la audicion todo lo perfecta posible en estas circunstancias excepcionales.

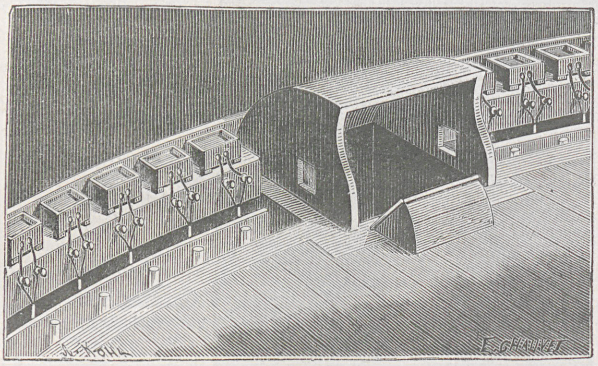


Fig. 372.—Audiciones telefónicas teatrales

Recordemos ante todo que los trasmisores microfónicos Ader están fijos en peanas de plomo que descansan sobre piés de cautchuc. El motivo de esta disposicion es el de evitar las irregularidades del sonido que resultarian de las sacudidas del tablado del escenario por los movimientos de los actores, y sobre todo las conmociones mucho más fuertes producidas por los bailables. La inercia de las masas de plomo, metal de escasa elasticidad, impide eficazmente estas perturbaciones.

M. Ader ha introducido una innovacion importante en este modo de audicion, el cual consiste en poner cada oyente en relacion con los dos lados de la escena, á cuyo efecto uno de los teléfonos, el que se aplica, por ejemplo, al oído derecho, va unido á un trasmisor situado á un lado de la escena, miéntras que el aplicado al oído izquierdo se enlaza con otro trasmisor puesto al otro lado. Fácilmente se comprenderá el motivo de esta disposicion. Aunque los mismos sonidos, por ejemplo, las vibraciones de la voz de un cantante, afectan á la vez á todos los trasmisores, este cantante no se halla á igual distancia de cada uno de ellos, segun el sitio que ocupa en la escena, y por lo tanto un trasmisor reproducirá el canto con tanta mayor intensidad cuanto menor sea su distancia al foco sonoro. La sensacion producida, por ejemplo, en el oído derecho será más fuerte que la trasmitida al izquierdo. Si el actor cambia de sitio, esta relacion cambia á su vez, y entónces recibirá mayor impresion el oído izquierdo. De estas modificaciones resulta que el oyente se forme idea de las posiciones respectivas de los cantantes en la escena, y que se produzca cierta ilusion análoga á la del oyente que asistiese en realidad á la funcion y se limitara á cerrar los ojos.

Grande fué el éxito de estas audiciones; pero su instalacion fué tan costosa que sus gastos ascendieron segun parece á 160,000 francos, no creyendo nosotros, por otra parte, que exciten jamás otro interés que el de la curiosidad. Por mucho que se perfeccione la trasmision de los sonidos de los instrumentos y de las voces, las audiciones telefónicas no bastarán nunca á suplir el espectáculo que ofrece la escena y los ademanes, la expresion y la fisonomía de los artistas, ni tendrán ese encanto especial producido por la asociacion de todos los atractivos de que se compone una funcion dramática ó lírica. Los conciertos de música instrumental serán quizás los únicos que se eximan del fastidio causado por una audicion á ciegas, digámoslo así. A pesar de todo, estos prejuicios sobre semejante aplicacion del teléfono no menguan en nada nuestra admiracion por la perfeccion con que se ha resuelto el problema de la trasmision de los sonidos y de las voces de una orquesta y de un escenario como los del gran teatro de la Opera.

Añadamos algunas palabras acerca de una aplicacion de los aparatos microfónicos á la reproduccion de las piezas musicales. Nos referimos á una modificacion realizada por Ader en la Exposicion de Electricidad y merced á la cual los visitantes han podido oir desde todos los puntos del Palacio de la Industria cuartetos de tocatas de caza ejecutados por cuatro cantantes delante de un trasmisor de forma especial. El conjunto constituia lo que se ha llamado la *charanga de Ader*.

Segun se ve en la figura 374, el trasmisor consiste en una boquilla telefónica provista de un gran diafragma en cuyo centro hay un disco de platino. Merced á una punta del mismo metal se puede graduar como se quiera el contacto del disco con el diafragma.

Cada uno de los cuatro receptores, colocados en arco de círculo, se compone de una trompa que sale de una caja en cuyo interior y enfrente de la abertura del pabellon hay una tablilla de abeto muy delgada L L (fig. 375). Detrás de

esta tablilla hay un iman de herradura AA con dos plaquitas de hierro dulce puestas, en el intervalo de sus polos, en la prolongacion una de otra; estas plaquitas rodean en cierta longitud los hilos de los carretes del circuito telefónico; están reunidas por una pieza de cobre, y

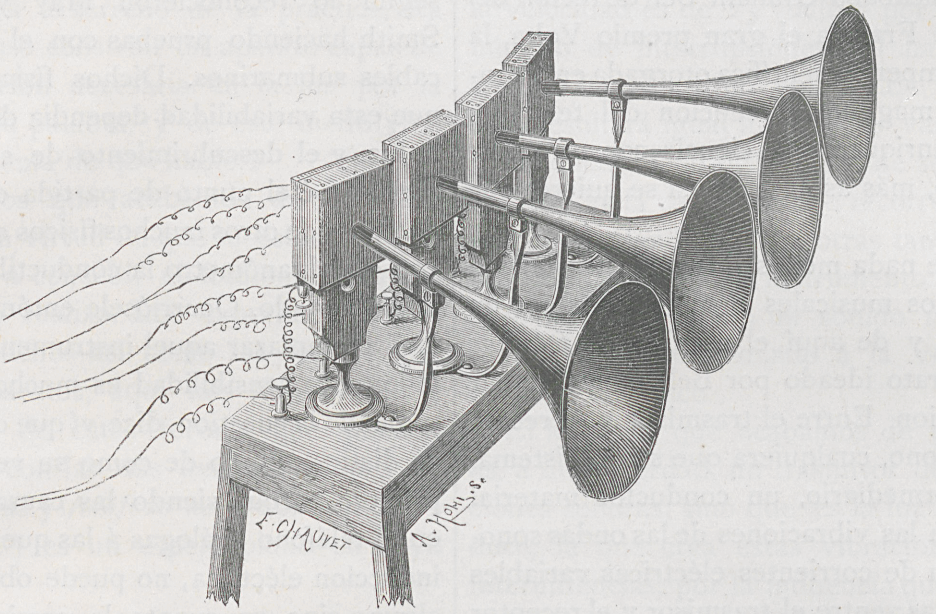


Fig. 373.—Charanga de Ader

en el intervalo que media entre los carretes, casi en contacto con la prolongacion de las armaduras de los carretes, hay una pequeña armadura de hierro dulce *a* sostenida por una cuña de madera *t* fijada á su vez en el centro del diafragma de abeto.

Cuando el trasmisor funciona, las corrientes ondulatorias ocasionan en el centro del iman

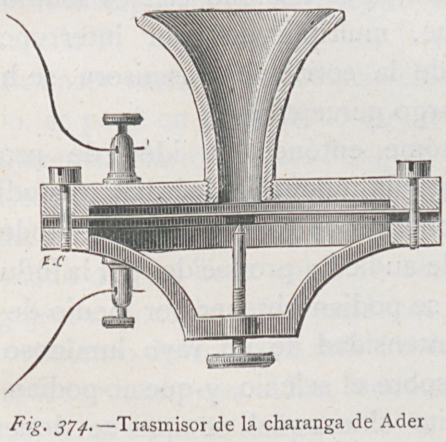


Fig. 374.—Trasmisor de la charanga de Ader

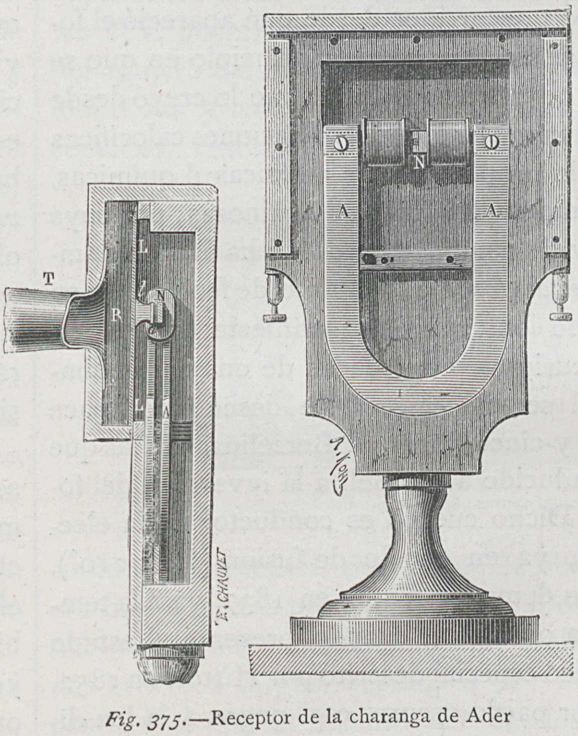


Fig. 375.—Receptor de la charanga de Ader

variaciones de intensidad magnética y por consiguiente vibraciones en la armadura, verdaderos choques contra los apéndices polares. Bajo esta influencia, las vibraciones sonoras del diafragma son muy enérgicas; al salir por los pabellones de las trompas, tienen toda la amplitud de los sonidos de las trompas de caza.

IV

LA RADIOFONÍA.—EL FOTÓFONO DE GRAHAM BELL

No bien acababa Graham Bell de recibir del Instituto de Francia el gran premio Volta, la mayor recompensa científica otorgada en Francia, por su magnífica invencion del teléfono, cuando ya enriquecia la ciencia con otro descubrimiento, más asombroso, si se quiere, que el primero.

Tratábase nada ménos que de la trasmision de los sonidos musicales ó articulados por un rayo de luz, y de aquí el nombre de *fotófono* dado al aparato ideado por Bell para efectuar esta trasmision. Entre el trasmisor y el receptor del teléfono, cualquiera que sea el sistema, hay un intermediario, un conductor material que propaga las vibraciones de las ondas sonoras en forma de corrientes eléctricas variables ú ondulatorias; entre el trasmisor y el receptor del fotófono ya no existe este conductor material, este hilo metálico; le ha sustituido la luz, de suerte que se podria trasmitir el sonido al través de un espacio vacío (vacío de materia ponderable), dado que las radiaciones luminosas se propagan á su vez en el vacío. En los dos años trascurridos desde que apareció el fotófono, se ha ampliado el principio en que se basa, y hoy está probado, como lo creyó desde luégo el inventor, que las radiaciones caloríficas gozan, lo propio que las actínicas ó químicas, del mismo poder que las luminosas; por cuya razon, y de comun acuerdo, se ha dado el nombre de *radiofonía* al conjunto de fenómenos en virtud de los cuales se manifiesta este poder.

Las curiosas propiedades de un cuerpo simple, del selenio, metaloide descubierto hace sesenta y cinco años por Berzelius, son las que han conducido á M. Bell á la invencion del fotófono. Dicho cuerpo es conductor de la electricidad, ya en estado de fusion (á los 210°), segun lo demostró Knox en 1837, ya á la temperatura ordinaria, cuando presenta el estado alotrópico especial descrito por Hittorf en 1852. De color pardo oscuro, casi negro á la luz difusa y muy brillante cuando se halla en estado vítreo, el selenio es rojo y trasparente en forma de tenues películas. Si despues de fundirlo se le deja enfriar lentamente, adquiere un aspecto granuloso, cristalino y de apariencia metálica. Esta variedad del selenio es la conductora de la electricidad á la temperatura ordinaria; conductibilidad por cierto bastante variable, segun lo reconocieron May y Willoughby Smith haciendo pruebas con el selenio en los cables submarinos. Dichos físicos advirtieron que esta variabilidad dependia de la accion de la luz, y el descubrimiento de semejante propiedad fué el punto de partida de las investigaciones de otros muchos físicos que estudiaron con el galvanómetro la conductibilidad del metaloide citado. Ocurriósele entónces á Graham Bell reemplazar aquel instrumento con el teléfono, cuya sensibilidad es mucho mayor. «Estudiando la cuestion, dice, ví que debia proceder de distinto modo de como se venia haciendo, primero porque siendo las causas de audicion en el teléfono análogas á las que determinan la induccion eléctrica, no puede obtenerse efecto alguno sino en cuanto la corriente empleada pasa de un estado enérgico á otro más débil y viceversa; y segundo, porque el efecto total es proporcional á la suma de las diferencias de intensidad de la corriente. Era, pues, evidente para mí que el teléfono no podia responder al efecto producido en el selenio sino en el momento de su paso de la luz á la oscuridad y viceversa, y que para conseguir resultados fáciles de apreciar, era preciso multiplicar bastante estos cambios luminosos para dar lugar á vibraciones sonoras, en una palabra, hacer *intermitente* la accion de la luz. Y en efecto, yo habia observado hacia tiempo que podian pasar desapercibidos en el teléfono ciertos sonidos aislados que, multiplicados por interrupciones rápidas de la corriente trasmisora, se hacian sin embargo perceptibles.

»Asaltóme entónces la idea de producir sonidos por la influencia de la luz, y estudiando más á fondo el asunto, pensé que todos los efectos de audicion producidos por la influencia eléctrica se podian obtener por medio de cambios de intensidad de un rayo luminoso proyectado sobre el selenio, y que no podian tener otro límite sino aquel en que se detiene la accion de la luz sobre esta sustancia; ahora bien, como la proyeccion de rayos paralelos concentrados en la placa sensible por un receptor parabólico puede ensanchar bastante dicho límite, discurrí que por este medio seria posible

establecer comunicaciones telefónicas de un punto á otro sin necesidad de ningun hilo conductor entre el trasmisor y el receptor. Para llevar esta idea al terreno de la práctica, era sin duda forzoso construir un aparato capaz de ejercer la accion necesaria en la luz por la influencia de la palabra, y de este modo vine á parar al sistema de que hablo.»

Los párrafos que acabamos de describir demuestran en virtud de qué sucesion de ideas llegó M. Bell á concebir el fotófono. Veamos ahora cómo lo realizó. Los experimentos que hizo fueron muchos así como las formas que dió á los aparatos; aquí nos limitaremos á describir dos de estas formas que pueden caracterizarse con las dos denominaciones de *fotófono musical* y *fotófono de articulacion.*

M (fig. 376) es un espejo plano en cuya

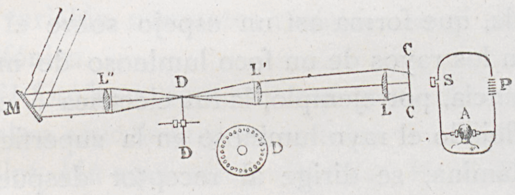


Fig. 376.—Fotófono musical de G. Bell

superficie se hace caer un haz de rayos luminosos paralelos, como los solares. Despues de reflejarse este haz, va á parar á una lente L'' y se concentra en su foco en D. Los rayos luminosos se cruzan en este punto y pasan á otra lente de la misma distancia focal que la primera, volviendo á ser paralelos á partir de esta. Una nueva lente L los proyecta en una placa de selenio S interpuesta en el circuito telefónico de una pila P.

Para hacer variar la resistencia eléctrica del selenio, se pone en D un disco que lleva en su circunferencia cierto número de agujeros, como los discos de un fenakisticopio. El disco está situado perpendicularmente al eje de las lentes y de modo que su foco coincide con uno de los agujeros. Si se imprime entónces al disco un movimiento de rotacion más ó ménos rápido alrededor de su eje, el haz luminoso pasará cuantas veces se halle enfrente de un agujero, pero quedará interceptado cuando tropiece en su marcha con uno de los intervalos que median entre agujero y agujero. El número de interrupciones del haz en cuestion será indudablemente tanto mayor cuanto mayor sea á su vez el de agujeros, y cuanto más considerable sea tambien la velocidad de rotacion del disco. Supongamos que hay 40 agujeros y que la velocidad es de 25 vueltas por segundo; el número de interrupciones del haz ascenderá á 1,000 en el mismo espacio de tiempo. De aquí resultará igual número de variaciones en la conductibilidad de la placa de selenio y por lo tanto en la corriente que recorre el circuito telefónico, dando lugar á otras tantas vibraciones del diafragma del instrumento. Y en efecto, el oyente A percibirá un sonido musical cuyo tono será proporcionado á la velocidad de rotacion del disco.

El fotófono que acabamos de describir, no es, á decir verdad, un trasmisor de las vibraciones sonoras; sino que es la luz la que produce, la que crea estas vibraciones con sus intermitencias, por la influencia que estas ejercen en la conductibilidad del selenio. Pero Bell ha demostrado que bajo esta forma se podia utilizar el teléfono musical como trasmisor de signos. Para esto ponia al lado del disco giratorio una palanca acodada M L *l*, que funcionaba como un manipulador Morse, y cuyo brazo menor se movia entre dos puntas V V, miéntras el otro se colocaba delante del agujero del disco que daba paso á los rayos luminosos, y como estos quedaban así interceptados, resultaba una interrupcion en los

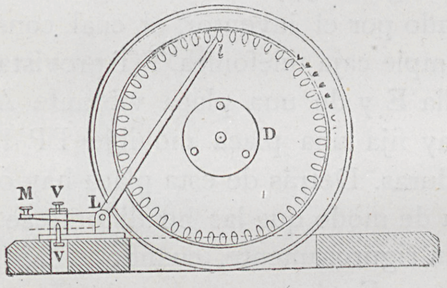


Fig. 377.—Disco del fotófono musical, con su obturador

sonidos del receptor. Segun que la obturacion era más ó ménos prolongada, lo cual dependia del manejo del manipulador, se obtenian sonidos breves ó largos, separados por silencios, con lo cual podian trasmitirse todos los signos del alfabeto Morse y comunicar telegráficamente por medio de un rayo luminoso.

En lugar de valerse del selenio para dirigir sobre él los rayos luminosos, M. Bell ensayó la accion de estos sobre una porcion de sus-

tancias reducidas á láminas tenues, como el oro, la plata, el platino, el hierro, el acero, el laton, el cobre, el zinc, el plomo, el antimonio, la plata alemana, el metal de Jenkin, el metal de Babitt, el marfil, la celulosa, la guttapercha, el cautchuc endurecido, el cautchuc flexible, el papel, el pergamino, la madera, la mica y el vidrio plateado. De todas estas sustancias el cautchuc endurecido fué la que dió mejores resultados, los sonidos más marcados; y el antimonio, el papel y la mica los que los dieron más débiles. La figura 378 muestra cómo esta-

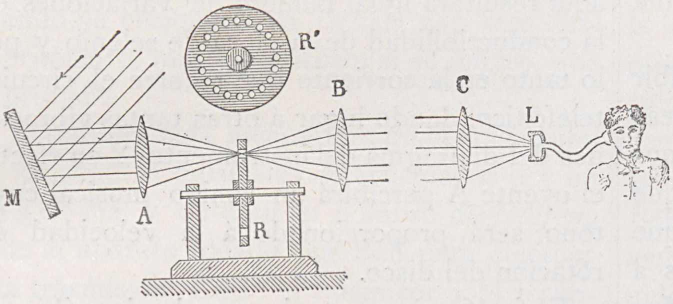


Fig. 378.—Experimentos de G. Bell. Fotófonos musicales

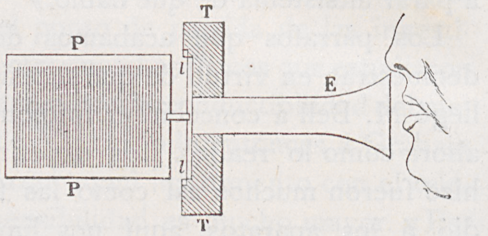


Fig. 379.—Fotófono de articulacion. Disposicion primitiva del trasmisor

ba preparado el experimento. El oyente se valia de un tubo acústico adaptado á la caja que tenia por diafragma la lámina tenue puesta á prueba.

No insistiremos más sobre estos últimos experimentos fotofónicos, muy interesantes científicamente considerados, pero que no tienen relacion con nuestro objeto, por cuanto ya no interviene en ellos la electricidad.

Pasemos ahora al fotófono de articulacion.

En este aparato, el trasmisor está necesariamente modificado, puesto que son las vibraciones de la palabra las que se han de trasmitir, y no simples rayos luminosos intermitentes. En la figura 379 se ve el primer sistema adoptado por el inventor, el cual consiste en una simple caja telefónica T T provista de una boquilla E y de una placa vibrante *ll*, en la que hay fija una placa movible PP llena de hendiduras. Detrás de esta placa hay otra dispuesta de modo que las hendiduras se corresponden rigurosamente, cuando el aparato no funciona. Entónces un haz luminoso podrá atravesar perpendicularmente las dos placas. Pero si las vibraciones de la voz llegan á actuar sobre el diafragma, los movimientos de este darán lugar á los de la placa movible adaptada á él, resultando de aquí extinciones, modificaciones más ó ménos grandes en el haz luminoso, que ejercerán su accion en el selenio del receptor y en las corrientes del circuito telefónico dispuesto segun ántes hemos visto.

Háse desechado sin embargo esta primera disposicion, habiendo prevalecido la siguiente.

El trasmisor tiene la misma forma que el precedente; pero el diafragma (fig. 380) es una lámina tenue *ll* de vidrio ó de mica plateada, que forma así un espejo sobre el cual caen los rayos de un foco luminoso de mucha potencia, por ejemplo, la luz eléctrica ó el sol. Reflejado el rayo luminoso en la superficie de la lámina, se dirige al receptor despues de atravesar una lente que hace paralelos los rayos

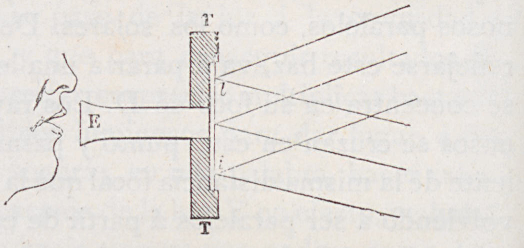


Fig. 380.—Trasmisor del fotófono de articulacion

de que se compone. Esta segunda parte del fotófono (fig. 381) está formada de un receptor parabólico de cobre plateado M de unos 70 centímetros de diámetro, en cuyo foco está fijo el selenio que comunica con el circuito telefónico. Hé aquí la forma que se ha dado á esta parte importante del receptor, que desempeña en el fotófono el mismo papel que el carbon en los aparatos microfónicos. Hay en él una serie de discos de laton separados por otros de mica de menor diámetro; el conjunto tiene la forma de un cilindro cuya superficie exterior está surcada de ranuras circulares paralelas. Estos intersticios son los que llena el selenio, cuya superficie es así considerable relativamente á su escasa masa, al paso que

su resistencia es débil. Los discos de laton están unidos de dos en dos á uno de los hilos del circuito, y los otros discos á otro hilo. Siempre que la luz reflejada por el espejo parabólico da en la superficie del selenio, disminuye la resistencia eléctrica de este en proporcion de la intensidad de los rayos luminosos. Fácil es darse cuenta de lo que entónces sucede cuando se habla delante de la boquilla del trasmisor. El haz luminoso que, durante el reposo de la placa, se trasmitia sin variaciones, resulta modificado por los cambios de forma que las vibraciones de la voz imprimen en la superficie de la lámina reflejante. Síguense de aquí variaciones en la intensidad de este haz, cuyas variaciones, correspondiendo con las de las ondas sonoras, engendran por intermedio del selenio ó sea de una sustancia de resisten-

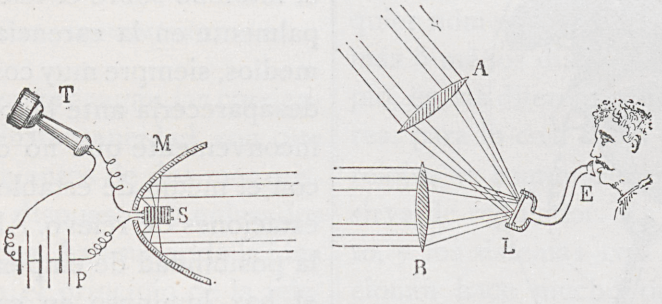


Fig. 381.—Marcha de los rayos luminosos en el fotófono de articulacion

cia variable, corrientes variables en el circuito telefónico.

El fotófono reproduce con gran claridad la palabra articulada y los sonidos ó cantos musicales. Hé aquí cómo describe M. Bell uno de los primeros experimentos que se hicieron con el aparato construido segun acabamos de decir:

«M. Tainter (colaborador asiduo de M. Bell) estaba encargado del trasmisor, puesto en lo más alto de la casa-colegio de Franklin en Washington, y yo estaba junto al receptor, instalado en mi laboratorio, á 213 metros de distancia de la primera estacion. Aplicándome el teléfono al oído, oí claramente las siguientes palabras trasmitidas por el aparato de proyec-

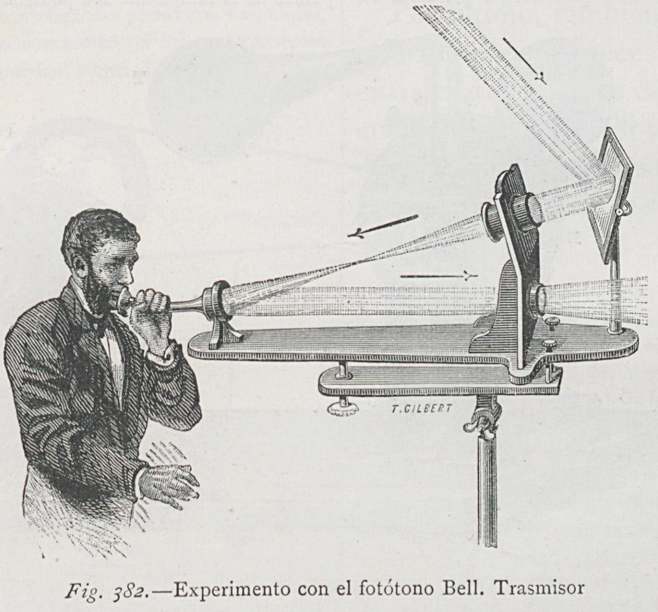


Fig. 382.—Experimento con el fotótono Bell. Trasmisor

cion: *Si oye usted lo que digo, asómese á la ventana y agite el sombrero.* En nuestros experimentos de laboratorio, el receptor y el trasmisor estaban siempre bastante apartados uno de otro para que los sonidos directos no causaran impresion en el oído, y habíamos colocado además los teléfonos en una habitacion diferente de la en que estaban la placa de selenio y el sistema de proyeccion. De este modo hemos reconocido que se podia reproducir la palabra con la luz oxihídrica y hasta con la de una lámpara de Kerosem.»

Despues de repetir sus experimentos en Paris con el teléfono articulante en octubre de 1880, M. Graham Bell presentó su admirable aparato á la Academia de ciencias, teniendo por intérprete á M. Breguet, en cuya casa se habian hecho dichos experimentos con la luz

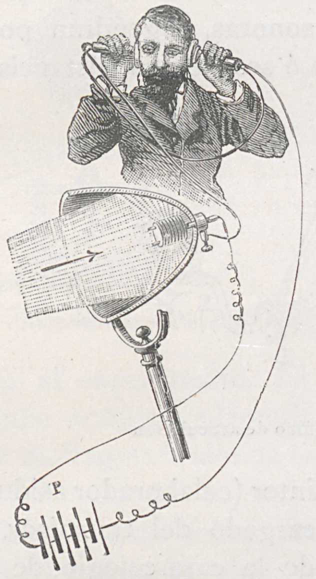


Fig. 383.—Experimento con el fotófono de articulacion. Receptor

eléctrica. La docta asamblea acogió el invento con entusiasta curiosidad, como en verdad lo merecia.

Y ahora, ¿qué porvenir le está reservado al fotófono? ¿Qué importancia práctica puede tener este nuevo sistema de comunicacion? ¿Deberá temer el teléfono la competencia del fotófono? No es probable. La distancia á que hasta ahora ha funcionado el nuevo aparato es muy corta, áun valiéndose de la luz solar; además, es indispensable que las estaciones de orígen y de destino entre las cuales marcha el rayo luminoso, no estén separadas en línea recta por ningun obstáculo. La ventaja que podria tener el fotófono sobre el teléfono consistiria principalmente en la carencia de conductores intermedios, siempre muy costosos. Pero esta ventaja desapareceria ante la exigüidad de la distancia, inconveniente que no desapareceria hasta dar con el medio de establecer de un punto á otro estaciones de relevo. Al mencionar M. Breguet la posibilidad de emplear espejos para desviar el haz luminoso en cada relevo, indica con razon que las reflexiones sucesivas absorberian una fraccion notable de este haz reduciendo así su alcance. En circunstancias puramente especiales, como las operaciones militares, los sitios, etc., tal vez pudiera prestar el fotófono los servicios que hoy presta la telegrafía óptica (1).

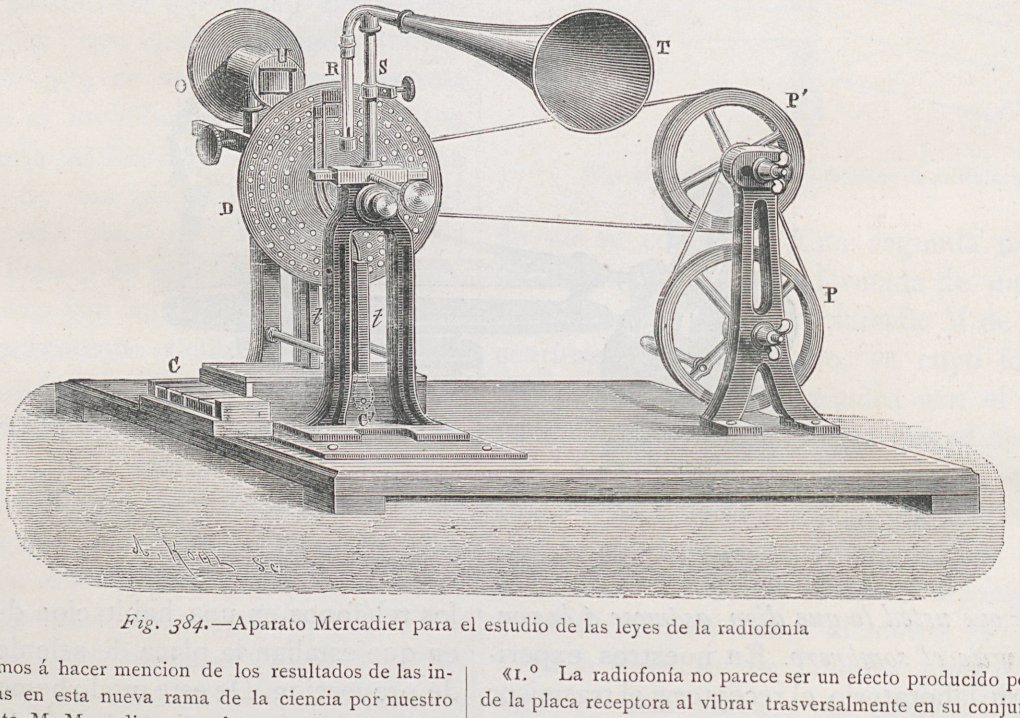


Fig. 384.—Aparato Mercadier para el estudio de las leyes de la radiofonía

(1) Si las aplicaciones del nuevo aparato son todavía de dudosa utilidad, no sucede lo propio con la gran importancia teórica ó científica de la radiofonía. No pudiendo entrar aquí en los detalles necesarios, nos limitaremos á hacer mencion de los resultados de las investigaciones hechas en esta nueva rama de la ciencia por nuestro ilustrado compatriota M. Mercadier, con el aparato que representa la fig. 384. Hé aquí estos resultados, cuya primera parte se refiere á los sonidos producidos por la influencia directa de los rayos luminosos:

«1.° La radiofonía no parece ser un efecto producido por la masa de la placa receptora al vibrar trasversalmente en su conjunto, como una placa vibrante ordinaria. La naturaleza de las moléculas del receptor y el modo de estar agregadas tampoco parecen ejercer un papel predominante en la produccion de los sonidos.

»El fenómeno radiofónico parece resultar principalmente de una

CAPÍTULO IX

LOS RELOJES ELECTRICOS

I

LOS CONTADORES ELECTRC-CRONOMÉTRICOS

La rapidez con que se propagan las corrientes eléctricas, la casi instantaneidad con que tienen efecto los movimientos de dos mecanismos convenientemente dispuestos y enlazados por un alambre conductor, han sugerido la idea de aplicar á la relojería el principio de la telegrafía eléctrica misma, y en efecto, merced al sincronismo de dichos movimientos se puede hacer marchar en perfecta concordancia cualquier número de relojes instalados en puntos más ó ménos distantes entre sí, como por ejemplo, en las diferentes estaciones de una vía férrea, para lo cual basta poner cada uno de estos relojes en comunicacion eléctrica con uno que sirva de regulador. Es un problema ya resuelto, y los sistemas con tal objeto ideados funcionan hace mucho tiempo, ya en los ferrocarriles ó ya en las ciudades, cuyos relojes públicos están arreglados de esta manera.

Pero hay otro problema resuelto tambien, y es el que consiste en aplicar la electricidad al movimiento del reloj regulador. A los aparatos de esta última clase se les suele dar el nombre de *relojes eléctricos;* los mecanismos que tienen por objeto trasmitir á larga distancia el movimiento de un regulador ordinario han recibido el de *contadores electro-cronométricos.*

Por último, tambien se ha recurrido al flúido eléctrico para establecer la solidaridad necesaria entre cierto número de relojes, cada uno de los cuales tiene su motor y sus mecanismos separados, de modo que restablezca con regularidad la concordancia entre sus marchas independien-

accion ejercida en la superficie del receptor, accion muy amplificada cuando esta superficie está cubierta de sustancias tales como el negro de humo, el de platino, etc.

»2.° Los sonidos radiofónicos resultan de la accion directa de las radiaciones en los receptores; siendo producidos principalmente por radiaciones de gran longitud de onda llamadas *caloríficas.*

»3.° El medio en que se produce la vibracion radiofónica es la capa de aire en contacto con las paredes del receptor. Las radiaciones intermitentes calientan y enfrian alternativamente la capa de aire condensada en las paredes del receptor, sobre todo cuando están dadas de humo ó cubiertas de una sustancia muy absorbente para el calor, resultando de aquí dilataciones y contracciones periódicas y regulares, y por consiguiente un movimiento comunicado á las capas gaseosas inmediatas, que por otra parte pueden vibrar directamente bajo la misma influencia.

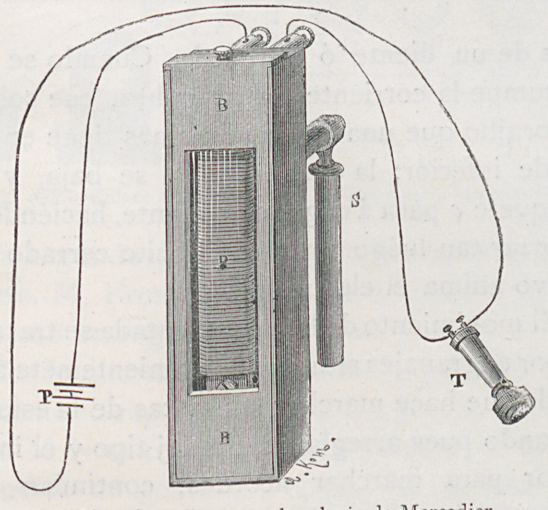


Fig. 385.—Receptor de selenio de Mercadier

»4.° Los sonidos radiofónicos no pueden producirse sino cuando el medio que rodea las superficies impresionadas es aeriforme. En su consecuencia, no puede producirlos un medio líquido ni tampoco sólido; pero uno gaseoso en cuyo seno haya vapores, y en particular vapores de amoniaco y de éter, los desarrolla de un modo notable, siendo los vapores de poder térmico más absorbentes los que dan mayores resultados.»

Por lo que hace á los sonidos producidos bajo la influencia de las variaciones de conductibilidad eléctrica, que caracterizan ciertas sustancias como el selenio cuando están sometidas á la accion intermitente de los rayos de luz, M. Mercadier demuestra que se deben más bien á una accion peculiar de la luz que no á una térmica. Para demostrarlo, reemplaza el receptor de la figura 384 con el representado en la 385, que es un receptor de selenio de nueva forma.

Al terminar esta nota, no podemos pasar en silencio una aplicacion de las leyes de la radiofonía debida al mismo físico. Trátase de un sistema de telegrafía para trasmisiones múltiples y simultáneas. El inventor da á este sistema el nombre de *Teleradiófono eléctrico múltiple autoreversible.* «Llamo *teleradiófono múltiple*, dice, á un sistema de telegrafía eléctrica en que los efectos radiofónicos son los que trasmiten los signos. Con este sistema se puede además trasmitir por un conductor cualquiera muchos signos *simultáneos*, á beneplácito en un sentido ó en sentido inverso, dimanando de aquí la calificacion abreviada de múltiple autoreversible. Esta última palabra indica que la reversibilidad es automática; que no necesita aparatos accesorios, como líneas artificiales, relevadores diferenciales, etc.» Segun se dice, los ensayos hechos por el autor de semejante sistema han dado ya buenos resultados.

tes, modo de aplicacion de la electricidad que parece prevalecer hoy en la práctica.

Los sistemas de estas aplicaciones son tan numerosos como los de la telegrafía; por lo cual habremos de limitarnos á describir, entre los tipos sancionados por la experiencia, uno ó dos que den á comprender perfectamente todo lo que hay de ingenioso en esta nueva aplicacion del electro-magnetismo.

Nos ocuparemos ante todo de los contadores electro-cronométricos.

Dos partes distintas componen un sistema de esta clase, absolutamente como todo aparato telegráfico. Ante todo hay que considerar el mecanismo unido al reloj regulador, que tiene por objeto trasmitir é interrumpir periódicamente, y á intervalos iguales, la corriente de la pila ó de cualquier otro electromotor. Esta corriente pone en movimiento al aparato receptor, es decir, al mecanismo que hace dar vueltas á la aguja de cada reloj: dicho aparato es el *indicador*.

Tomemos, por ejemplo, el contador de Monsieur P. Garnier.

El reloj-tipo es un reloj ordinario. Hé aquí la sencillísima disposicion mediante la cual se logra que este reloj dé paso é interrumpa sucesivamente la corriente en el circuito. La última rueda del mecanismo lleva en su eje un molinete *m* de cuatro dientes excéntricos, que en su rotacion tan pronto levantan el gancho *d* de la palanca *l* como lo dejan caer. En el primer caso, representado en la fig. 386, se ponen en comunicacion los dos polos + y — de

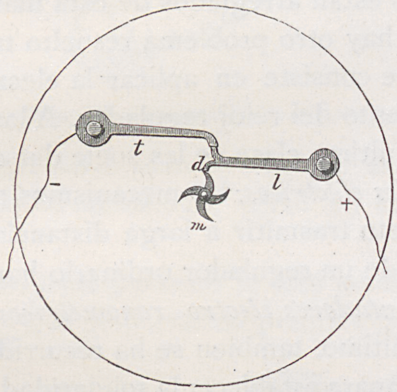


Fig. 386—Mecanismo trasmisor del contador electro-cronométrico Garnier

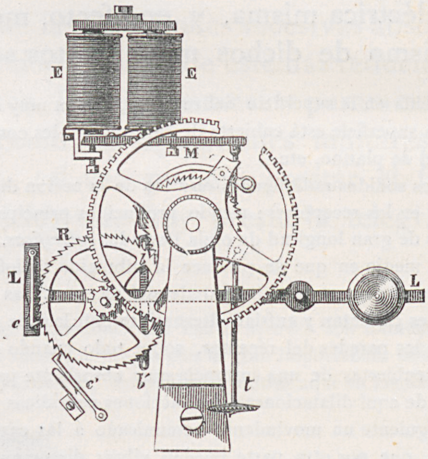


Fig. 387.—Indicador del contador electro-cronométrico Garnier

la pila en virtud del contacto de las dos palancas metálicas *t* y *l*, con lo cual se cierra el circuito y pasa la corriente. En el intervalo que media entre un diente y otro, cae la palanca *l*, cesa el contacto, se rompe el circuito y queda interrumpida la corriente. Los contactos de las dos piezas son de oro ó de este metal y platino, con objeto de evitar la oxidacion que produce el paso de la electricidad. La figura 386 representa las partes más esenciales del *indicador* Garnier. Un electro-iman EE atrae ó repele, segun que pasa ó se interrumpe la corriente emitida por el reloj-tipo, una armadura M, que á su vez levanta la palanca LL por medio de la varilla *t*. En uno de los extremos de esta palanca hay un trinquete *c* que al levantarse hace que avance un diente de la rueda R. Dos cuñas, *b* y *b'*, impiden que esta rueda avance más de un diente ó retroceda. Cuando se interrumpe la corriente, la armadura cae sobre el tornillo que una de las bobinas tiene en su borde inferior; la palanca LL se baja, y el trinquete *c* pasa á coger otro diente, haciéndole avanzar tan luégo como el circuito cerrado de nuevo anima el electro-iman.

El movimiento de la rueda dentada se trasmite por engranajes situados convenientemete á la rueda que hace marchar las saetas de la esfera. Estando pues arreglados el reloj-tipo y el indicador para marchar acordes, continúan así miéntras dura la accion de la pila y la corriente es bastante enérgica para atraer la armadura.

Digamos ahora cómo se enlaza una serie de indicadores con el reloj-tipo, y cómo pueden andar todos por el solo impulso del primero,

sin que cualquier interrupcion en alguno de ellos pueda influir en los otros.

De la pila P salen dos gruesos alambres A B C D, despues de atravesar, segun hemos visto, el reloj-tipo. De cada uno de estos alambres salen otros pares *ab*, *a'*b', etc., de menor diámetro, que comunican con cada indicador *o' o''*...... Por este medio, el circuito principal se divide en tantos circuitos derivados como aparatos horarios hay, y comunica á cada uno de ellos el movimiento con entera independencia de los demás: de este modo se puede empalmar los hilos *cd c'd'*, de uno ó dos indicadores, como *o'' o'''*, á los de otro, *o''*.

Por lo dicho se ve que la gravedad es la que obra como fuerza antagonista en el contador de Garnier, resultando de aquí que estos aparatos no pueden funcionar sino con la condicion de que se los coloque en posicion vertical. La ventaja está en la constancia ó invariabilidad de esta fuerza, constancia que no existe cuando depende de la elasticidad de los muelles.

En el sistema Froment, el reloj-tipo era en un principio un reloj ordinario con una rueda cuyos dientes rozaban á cada segundo con un muelle fijo. Este muelle consistia en una delgada placa de oro puesta en comunicacion con uno de los polos de la pila, al paso que la rueda lo estaba con el otro polo; por consiguiente, á

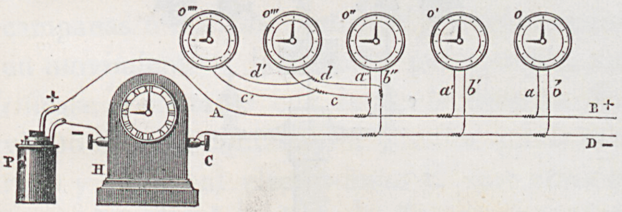


Fig. 388.—Enlace telegráfico del reloj-tipo y de los indicadores

cada segundo pasaba ó se interrumpia la corriente. M. Froment sustituyó despues el reloj-tipo con un regulador eléctrico.

Por lo que hace al contador ó indicador, es tal como lo representa la figura 389. La armadura M N se compone en su parte O N de un apéndice de cobre con el cual se articula un sistema de dos palancas S P Q N cuyos brazos S Q, Q N tienden á enderezarse cuando la corriente atrae la armadura. La varilla P Q actúa entónces sobre la palanca acodada P*i*, y el trinquete *i* hace adelantar un diente de la rueda R. Cuando la corriente se interrumpe, la armadura vuelve á su posicion por la accion del muelle *l*, los brazos S Q N se doblan en sentido contrario, y el trinquete *i* se separa de la rueda dentada, impidiendo el trinquete *b* todo movimiento de retroceso.

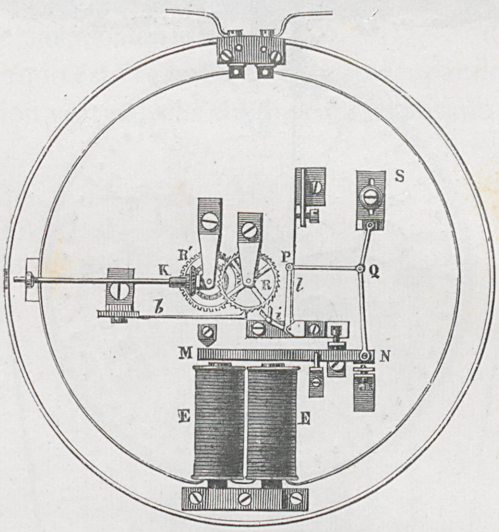


Fig. 389.—Contador electro-cronométrico Froment: indicador

El piñon de otra rueda dentada R' comunica el movimiento á las saetas del reloj, y un engranaje de rueda de ángulo permite ponerlo en hora mediante la varilla K, terminada en un cuadrito que va á parar á la circunferencia del cuadrante.

La originalidad del contador Froment está principalmente en el uso del *repartidor* S P Q N. Este intermediario mecánico tiene por objeto proporcionar la resistencia con la fuerza atractiva del electro-iman sobre la armadura, atraccion que llega á su máximum cuando la distancia es la menor posible, es decir, en el momento del contacto, y por lo tanto, en el instante en que el movimiento va á cesar será cuando la velocidad de las piezas llegue á su máximum, lo cual presentaria un grave inconveniente para el mecanismo. Gracias al repartidor en cuestion, la resistencia crece en la misma proporcion que la atraccion, de suerte que la fuerza atractiva del electro-iman subsiste así constante.

Los *faroles-relojes* no son otra cosa sino faroles de gas dentro de los cuales están colocados los contadores y que en uno ó dos de sus cristales llevan las esferas horarias. Nollet en Gante, Detouche en Paris y Breguet en Lyon han construido aparatos de esta clase. La figura 390 representa exterior é interior-

mente uno de los veinticuatro faroles-relojes instalados en Lyon por M. Breguet. Vese en él que los electro-imanes E, E′ son dobles;

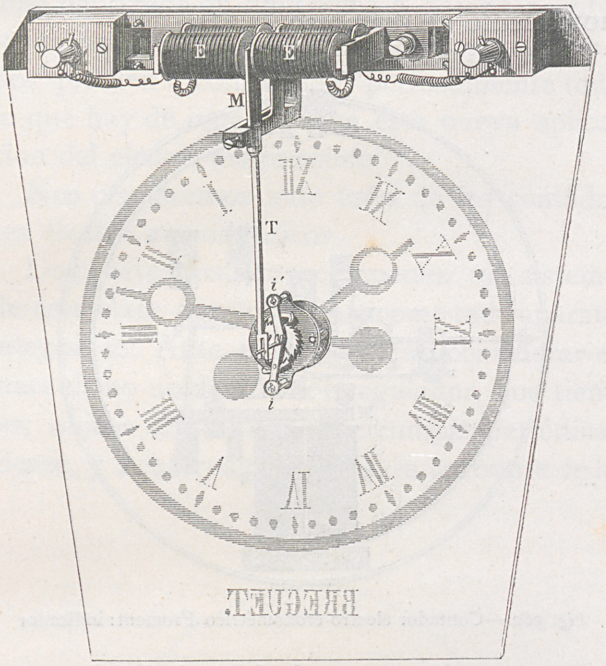


Fig. 390.—Farol-reloj de M. Breguet

estando situados de tal suerte que sus polos opuestos se miran y por lo tanto la armadura M, que está imantada, se halla á la vez atraida por el uno, repelida por el otro y á la inversa, segun que la corriente circula por uno ú otro de los electro-imanes. La varilla T unida á dicha armadura actúa, por medio de una horquilla provista de una clavija metálica, sobre dos piezas ó trinquetes *i i′* que hacen las veces de áncoras de escape, y ponen en movimiento los dientes de una rueda cuyo eje lleva el minutero.

No hay para qué decir que se necesita mucha vigilancia y cuidado para que los contadores electro-cronométricos funcionen con constancia y regularidad, cualquiera que sea el sistema que se adopte. El buen estado de las diferentes piezas, el del reloj-tipo y sobre todo el entretenimiento de la pila son condiciones absolutamente necesarias, y tanto, que juzgamos inútil encarecerlas. Pero como alguna de ellas puede faltar, claro está que lo que constituye la superioridad de una instalacion de esta clase sobre los relojes ordinarios, esto es, la solidaridad de los relojes de una misma ciudad ó de una línea, seria un grave inconveniente en caso de interrupcion. Así, pues, no tan sólo importa que los contadores sean independientes como se ha visto en el sistema Garnier, sino tambien que el impulso no parta de un solo regulador; dividiendo una ciudad en barrios, en cada uno de los cuales haya un regulador, se disminuye en proporcion igual el inconveniente indicado.

II

RELOJES ELÉCTRICOS PROPIAMENTE DICHOS

En el Libro consagrado á la gravedad vimos que la fuerza motriz de los relojes emana de un peso ó de un muelle, y que el péndulo sirve para regular el movimiento comunicado á las ruedas por el motor. La regularidad de su marcha depende de la regularidad con que se efectúen las oscilaciones del péndulo, cuyas oscilaciones deben ser invariables en lo posible. Por lo demás la reaccion del áncora de escape mantiene el movimiento del péndulo.

El problema que han procurado resolver los inventores de relojes eléctricos consistia en dar al péndulo, directamente y sin emplear el motor ni las ruedas comunes, un impulso emanado de la electricidad y á propósito para perpetuar y regularizar su movimiento. Hé aquí algunos

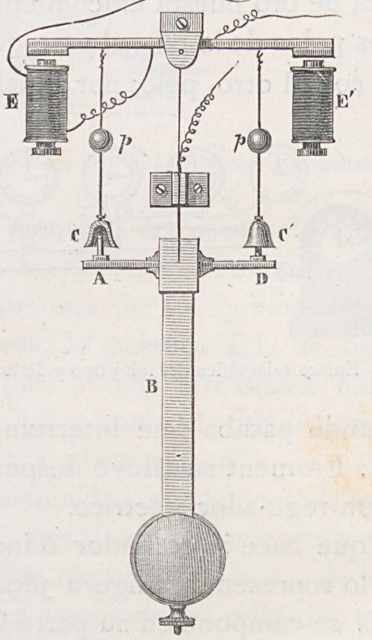


Fig. 391.—Reloj eléctrico Verité

ejemplos de péndulos eléctricos en que se ha realizado esta condicion:

El que representa la figura 391 es uno de los más antiguos; fué inventado por un diestro relojero de Beauvais, llamado M. Verité.

El péndulo B, suspendido de un sistema de muelle ó isócrono, lleva un travesaño rígido A D provisto de dos clavijas que se mueven libremente dentro de dos campanas metálicas C y C'.

Estas están suspendidas á su vez, mediante unos alambres de plata muy finos armados de contrapeso *p p*, de una báscula horizontal, cuyos dos brazos están aislados en su punto medio por una pieza de marfil. Dos electro imanes E y E' tienen sus polos situados enfrente de dos armaduras de hierro dulce sostenidas por la báscula, y cada uno de ellos enlazado eléctricamente con el brazo respectivo de dicha báscula y por otra parte con uno de los polos de la pila: el otro polo comunica por un hilo con el sistema de suspension del péndulo.

Cuando éste se halla en reposo ocupando una posicion vertical, las clavijas del travesaño A D

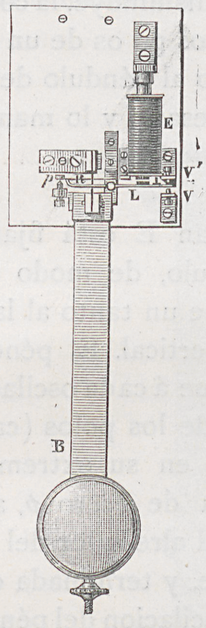


Fig. 392.—Reloj eléctrico Froment

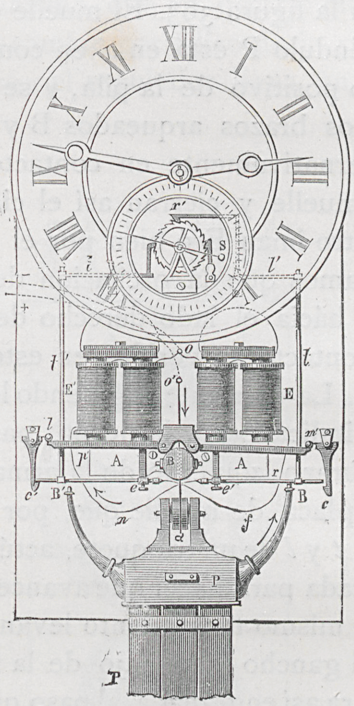


Fig. 393.—Reloj eléctrico Roberto Houdin

no están en contacto con ninguna de las dos campanas metálicas; pero si el péndulo se pone en movimiento á la derecha, por ejemplo, verifícase el contacto con la de la derecha. En virtud de este contacto, el circuito queda cerrado y anima al electro-iman E' que atrae el brazo derecho de la báscula. La campana C' se baja, y por su peso actúa sobre la clavija, imprimiendo al péndulo un impulso que le da un movimiento retrógrado.

A causa de este movimiento, cesa el contacto de la clavija con C' y se interrumpe la corriente; mas al desviarse el péndulo hácia la izquierda, ocasiona el contacto de la clavija del mismo lado con la campana C; ciérrase el circuito; el electro-iman E actúa sobre el brazo izquierdo, y la campana C pesa á su vez sobre el lado A del travesaño del péndulo, y así indefinidamente.

El reloj eléctrico de Froment (fig. 392) recibe su movimiento de la accion periódica de un peso *p*, que se apoya en un tornillo lateral siempre que se cierra el circuito. Hé aquí cómo está dispuesto y cómo funciona el regulador. El péndulo B, suspendido de un muelle isócrono, está en comunicacion directa con el polo positivo de la pila: el otro polo se halla empalmado al hilo del electro-iman E, que comunica con una placa de muelle, á cuyo extremo está soldado el peso *p*. El brazo R de una palanca RL sostiene esta placa y el peso, cuando está abierto el circuito; el otro brazo L lleva una armadura, atraida por un electro-iman siempre que se cierra el circuito y pasa la corriente. Ahora bien, cada oscilacion del péndulo da lugar á que se abra y cierre sucesivamente el circuito. Durante la mitad de la oscilacion que se efectúa hácia la izquierda, el tornillo toca el peso *p*, el circuito se cierra, la armadura es atraida, y el brazo R de la palanca deja de sostener la placa y el peso, que actuando sobre el tornillo, y por consiguiente sobre el péndulo, imprime á éste

un impulso retrógrado. Entónces el contacto cesa, el circuito se rompe, la armadura recobra su posicion primitiva, y el peso deja de ejercer su accion. Por lo demás, dos tornillos V y V' limitan el movimiento de avance del brazo L de la palanca. Así, pues, y segun se ve, la accion de un peso constante es la que á cada oscilacion mantiene el movimiento del péndulo.

El regulador de Roberto Houdin está representado en la figura 393. El muelle de suspension del péndulo P está en *o'* en comunicacion con el polo positivo de la pila, y se halla provisto de dos brazos arqueados B y B' que se ponen alternativamente en contacto con dos placas de muelle y cierran así el circuito, ora por el electro-iman E ó bien por el E'.

Supongamos que la oscilacion del péndulo se efectúa hácia el lado derecho de la figura, y que el contacto se verifica en este caso por el brazo B. La corriente, siguiendo los hilos en el sentido indicado por la flecha, pasa por E'; atraido el brazo izquierdo de la armadura AA, levanta la placa de muelle que, por medio de las varillas *t* y *l* de un trinquete, actúa sobre la rueda dentada para hacer que avance un diente de ella. El mismo movimiento levanta la masa *l* y lleva el gancho *c'* debajo de la placa, que se encuentra así engranada, al paso que la placa de la derecha se desprende del gancho *c* y puede actuar por su peso durante el movimiento retrógrado del péndulo. Entónces el contacto cesa, la corriente se interrumpe, la armadura de la izquierda no es ya atraida, y la varilla *t'* se baja y repele el trinquete correspondiente por cima de un nuevo diente de la rueda.

El movimiento del balancin hácia la izquierda produce el contacto de B' con la placa de muelle del mismo lado. La corriente circula al través del electro-iman E atrayendo la armadura, y en las piezas simétricamente colocadas se producen los mismos movimientos que acabamos de describir; de suerte que ahora es la placa de muelle de la izquierda la que, desprendida, obra por su elasticidad y su peso sobre el brazo B' del péndulo, y el trinquete *r'* hará avanzar á su vez un diente de la rueda. Mediante dos contrapesos *e e'*, que se pueden fijar á diferentes distancias en las placas de muelle, se puede regular la accion motora de estas placas, y por consiguiente la del péndulo mismo.

Ocupémonos tambien de un péndulo eléctrico muy ingenioso que, como los anteriores, puede construirse para funcionar solo ó para servir de regulador y de reloj-tipo á una serie de cuadrantes enlazados eléctricamente con él. Su inventor es M. Hipp, relojero de Neuchatel.

Describamos ante todo el mecanismo del regulador. Compónese de unas agujas á las cuales comunican el movimiento las oscilaciones de un péndulo. Miéntras estas conservan suficiente amplitud la electricidad no interviene, pero si aquella disminuye, la corriente obra por la atraccion de los po os de un electro-iman, y un impulso dado al péndulo devuelve á éste el movimiento necesario y lo mantiene con regularidad.

Véase cómo.

El electro-iman E está fijado sólidamente debajo del péndulo, de modo que la línea de sus polos se halle un tanto al lado de la varilla en su posicion vertical. E péndulo lleva en A una armadura que á cada oscilacion pasa á muy corta distancia de los polos (casi rozando con ellos). Debajo y en su extremo va fijada una paleta ó plaquita de acero *p*, articulada sobre un eje horizontal alrededor del cual puede moverse libremente, y terminada en forma de cuchilla. A cada oscilacion del péndulo esta paleta va y viene con él y se corre, pero sin apoyarse en ella, sobre una pieza saliente provista de dos muescas, llamada el fiador, y que está sostenida por una placa de muelle *r* la cual comunica por uno de sus extremos con el polo negativo de la pila. Cuando el movimiento del péndulo es de suficiente amplitud, la paleta traspasa el fiador; mas si dicho movimiento se acorta, se detiene en la posicion marcada en el grabado, y al principio de la oscilacion opuesta, va á dar contra una de las muescas. Si no pudiera entónces bajarse el fiador, el péndulo se pararia, pero la placa de muelle en que está aquél cede, fórmase el contacto con el tornillo á que está empalmado el otro hilo de la pila y se cierra el circuito. Animado ya el electro-iman, atrae la armadura del péndulo, y esta atraccion ocasiona el impulso necesario para mantener el movimiento del péndulo. A la oscilacion siguiente, todo vuelve al órden primitivo, y sólo entra en juego la electricidad cuando se necesita un nuevo impulso.

El tiempo que trascurre entre dos impulsos sucesivos depende de la fuerza de la pila; y á esto es á lo que M. Hipp llama *duracion de impulso*, que puede ser de muchos minutos, ó tan sólo de muchos segundos. Con un elemento de pila Leclanché un regulador de este sistema puede marchar muchos meses sin interrupcion.

Lleguemos ahora al mecanismo distribuidor que permite trasmitir la hora del regulador á cualquier número de contadores cronométricos enlazados eléctricamente con él y con la pila.

La rueda dentada R, que tiene sesenta dientes, y que marca un segundo á cada impulso del péndulo, lleva en su eje un rayo ó espiga metálica *b* que da una vuelta por minuto como la rueda, y que, en un momento dado toca una, dos ó muchas paletas enlazadas en C C con los hilos de línea. De este modo pasa una corriente por minuto por cada contador, cuyo mecanismo marcha por efecto de ella. Como este mecanismo, que no describimos aquí, requiere un cambio periódico de la direccion de la corriente, el regulador lleva un invertidor,

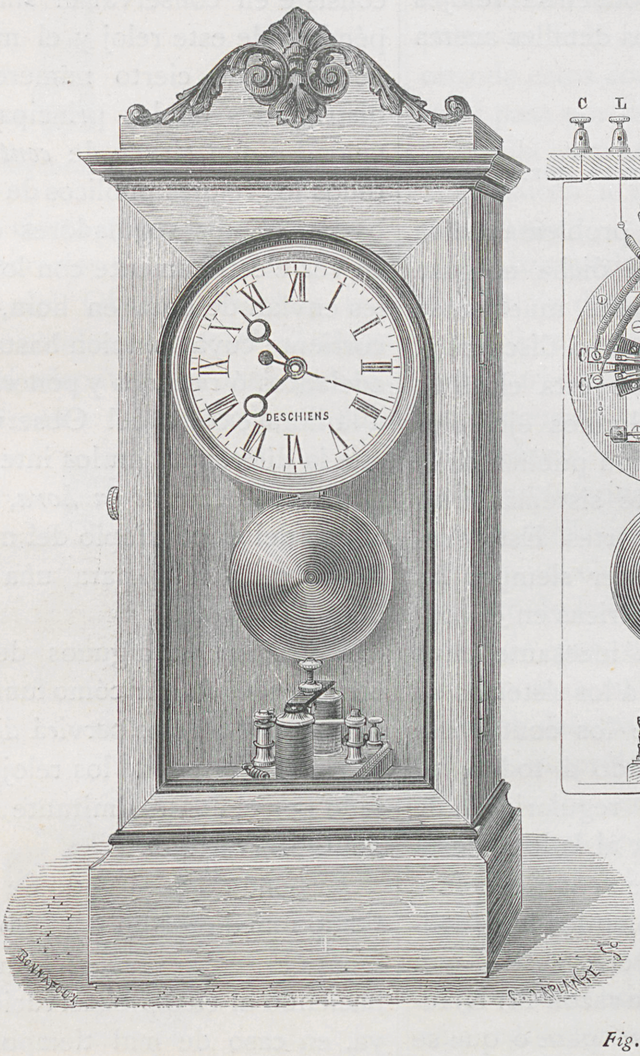


Fig. 394.—Vista exterior del reloj eléctrico Hipp

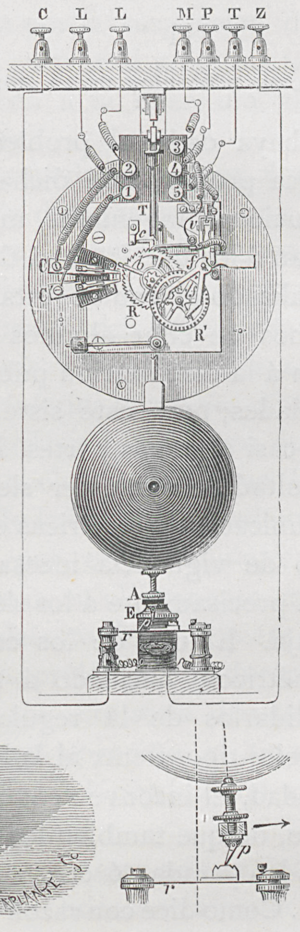


Fig. 395.—Detalles del mecanismo del regulador y distribuidor

cuyo detalle está representado á la derecha de la figura. Una rueda R′, movida por un piñon de la rueda dentada, lleva en sus rayos unas clavijas que se apoyan en los brazos de una palanca de horquilla *f* y la hacen oscilar alrededor de su punto de apoyo. Dos placas de muelle, fijadas en el otro brazo de la palanca, oscilan de este modo alrededor de una posicion media, y una tras otra van á formar el contacto con el polo positivo ó con el negativo de la pila.

Los relojes eléctricos del sistema Hipp funcionan con regularidad en muchas ciudades de Suiza.

Nos limitaremos á citar estos ejemplos de relojería eléctrica que bastan para dar una idea

del modo cómo se ha podido utilizar la fuerza de las corrientes para suplir la de los muelles de los relojes comunes. En la Exposicion internacional de Electridad habia muchos ejemplares de este arte nuevo; los péndulos y relojes eléctricos, los contadores electro-cronométricos, los despertadores, etc., abundaban en las galerías del palacio. Pero todos estos sistemas, que en realidad no ofrecian novedad alguna, quedaban desde el punto de vista práctico muy por debajo de los diferentes sistemas adoptados por la ciudad de Paris para la distribucion y unificacion de la hora en sus relojes públicos. Entremos en algunos detalles acerca de este punto.

III

DISTRIBUCION ELÉCTRICA DE LA HORA

Aunque se haya dado al problema de la relojería eléctrica propiamente dicha un gran número de soluciones ingeniosas, muchas de las cuales honran á los que las han discurrido, no se ha generalizado el uso de esta clase de relojes. Acabamos de citar algunos ejemplos de su aplicacion á la distribucion pública de la hora en las ciudades; pero este sistema se ha desechado hoy casi en todas partes. Esto consiste en la dificultad de mantener siempre las pilas y las comunicaciones eléctricas en el conveniente estado de vigilancia incesante, cuya necesidad quita precisamente á los sistemas su principal ventaja. El uso de los contadores electro-cronométricos, haciendo á todos los indicadores solidarios de la regularidad de marcha de un reloj-tipo, tiene, al lado de esta preciosa propiedad, el inconveniente, bastante grave por cierto, de que tambien los hace solidarios de todas las paradas ó errores del mecanismo central. Como dice con razon M. Niaudet, «basta que el regulador se pare ó que se rompa un elemento de pila, ó que el hilo se interrumpa en un punto, para que se paralice todo el sistema. Basta una persona torpe ó mal intencionada para privar de la hora ó inducir á error á muchas personas. Puédense encontrar algunos paliativos para estos defectos, pero por más que se haga, siempre subsiste el inconveniente.»

Así pues, ha habido que plantear de otro modo la cuestion de la distribucion eléctrica de la hora en las grandes aglomeraciones urbanas. Se ha apelado á la electricidad, pero no para poner en movimiento mecanismos especiales, ni para corregir de segundo en segundo ó de minuto en minuto todos los relojes públicos por medio de una corriente emanada de un regulador central. En el nuevo sistema que funciona hoy con completo éxito en Paris, todos los relojes que han de marchar sincrónicamente tienen sus movimientos independientes. El cometido de la corriente eléctrica partida del regulador tipo, colocado en el Observatorio, consiste en conservar el sincronismo entre el péndulo de este reloj y el movimiento de los péndulos de cierto número de reguladores distribuidos en los principales barrios de la ciudad y que sirven de *centros horarios* para todos los relojes públicos de cada uno de dichos barrios. Estos reguladores están enlazados á su vez eléctricamente con los citados relojes, y les envian de hora en hora, por ejemplo, una corriente cuya duracion basta para corregir sus adelantos ó retrasos y ponerlos en tal momento á la hora exacta del Observatorio, de suerte que la diferencia, en los intervalos que median entre estas *puestas en hora*, no puede exceder nunca del error propio del mecanismo particular de cada reloj para una duracion de una hora á lo sumo.

Entremos en algunos detalles que harán comprender mejor cómo funciona este organismo. A este fin nos servirá de guía el dictámen sobre el servicio de los relojes en 1880, redactado por el contraalmirante Mouchez, director del Observatorio.

El péndulo encargado de dar el segundo de tiempo medio es un péndulo Berthoud; diariamente lo revisa un astrónomo de servicio, ya haciendo al efecto observaciones astronómicas, ya, en caso de mal tiempo, comparando sus indicaciones con las del péndulo de los sótanos, «cuya gran precision y regularidad jamás se han desmentido.» Hácense las correcciones de este péndulo director agregando ó quitando pequeñas pesas que se ven (fig. 396) en una pieza puesta á cada lado del balancin. Agregando una pesa, se adelanta el regulador, y quitándola se le atrasa.

En la misma pieza que el reloj-tipo hay otros dos, enlazados eléctricamente con aquel

de modo que marcan los segundos sincrónicamente. Estos dos reguladores son las cabezas de línea de dos circuitos urbanos, uno el *circuito oeste* y otro el *circuito este*, cada uno de los

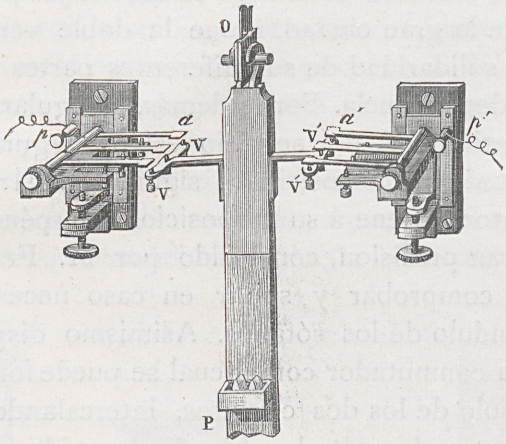
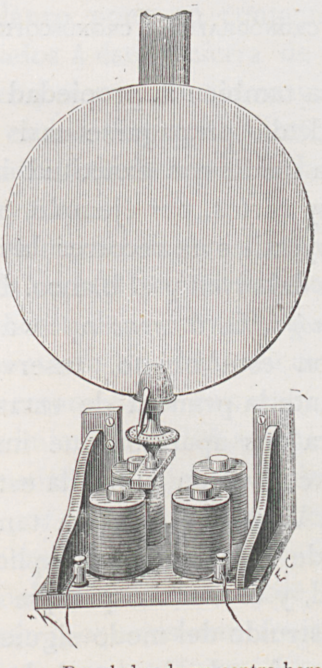


Fig. 396.—Regulador del reloj director

cuales comprende cierto número de reguladores ó de centros horarios.

En un sótano del Observatorio hay tres pilas, una de ellas conducida por el péndulo-director y que está adscrita á los dos reguladores inmediatos así como á un tercer péndulo


Fig. 397.—Regulador de un centro horario

instalado en el cuarto del portero; es el circuito local del Observatorio. Las otras dos pilas lo están, una al circuito oeste, y otra al este, con los dos reguladores de que acabamos de hablar por cabezas de línea.

Veamos ahora, con el auxilio de las figuras 396 y 397, cómo se produce el sincronismo en el movimiento de los péndulos.

El balancin del reloj-tipo está provisto en su parte superior de dos varillas terminadas en forma de T, cada una de las cuales lleva en el travesaño de la T las puntas de tres tornillos V, V', correspondientes á tres palancas independientes *a*, *a'* que pueden girar alrededor del mismo eje horizontal. Cuando el péndulo se dirige á la derecha en su movimiento de oscilacion á una y otra parte de la vertical, las puntas de los tornillos de este lado se levantan y tocan los extremos de las palancas de la derecha; cuando se dirige á la izquierda, cesa el contacto á la derecha y se forma con las palancas de la izquierda. Miéntras dura uno ú otro de estos contactos, la corriente de la pila local pasa por la suspension del péndulo, por la varilla trasversal y por las tres palancas que la conducen á la línea, ora al circuito oeste, ora al este.

Acabamos de ver cómo, á cada oscilacion, el péndulo director envia una corriente á los reguladores ó centros horarios de los dos circuitos urbanos. Véamos ahora cómo se utiliza esta corriente para corregir la marcha de los reguladores. El balancin de estos lleva en su extremo inferior una pieza de hierro dulce que á cada oscilacion va á parar delante de los polos de un electro-iman que forma parte del circuito de la línea. La corriente emitida cada segundo por el péndulo-director anima este electro-iman en el momento en que el balancin se pone delante de él; la pieza de hierro dulce es atraida, prolóngase la duracion de la oscilacion que sin esto seria demasiado corta, y se establece y conserva el sincronismo con el movimiento del péndulo del reloj del Observatorio.

Como se ve, esta primera parte del servicio asegura la concordancia perfecta de los diez y seis reguladores de los dos circuitos con la hora del Observatorio. Consultando las esferas de estos centros horarios, el público puede arreglar sus relojes al tiempo medio, hasta con un segundo de diferencia. Pero la distribucion de la hora no se limita aquí. Cada centro horario (y esta es la razon de su denominacion) forma á su vez una nueva red de distribucion que enlaza telegráficamente su regulador con todos los relojes vecinos. Pero el sistema no consiste ya en enviar cada hora una corriente

que ponga en hora las agujas de las esferas de estos relojes. Los sistemas de *puestas en hora* empleados en las diferentes redes no son idénticos: se ha querido permitir á los principales relojeros de Paris, inventores de procedimientos particulares, que ensayaran sus respectivos sistemas. Se podrá formar una idea del modo cómo funciona esta segunda parte del servicio viendo cómo está organizado en el centro horario más importante, cual es el instalado en la Prefectura del Sena. La red irradia á las veinte alcaldías de Paris, que están en comunicacion telegráfica con la Prefectura.

«De hora en hora, dice M. Niaudet, se interceptan por espacio de dos minutos los hilos de esta red para poner el reloj de cada alcaldía de acuerdo con el regulador de la Casa de la Ciudad (Tullerías). Al lado de este regulador hay veinte relais á los cuales envia cada hora una corriente cuyo efecto es el de interceptar la línea telegráfica, emision que se efectúa cien segundos ántes de la hora. Como unos treinta segundos ántes de la hora, el mismo regulador lanza á las líneas la corriente de una segunda pila; la interrumpe á la hora exacta, y por consiguiente la mantiene continua por espacio de treinta segundos. Por último, diez segundos despues de la hora, los relais vuelven, á causa de la supresion de la primera corriente, á su posicion normal, ó lo que es lo mismo, las líneas vuelven á su servicio telegráfico. Por otra parte, sesenta y cinco segundos ántes de la hora, cada reloj de alcaldía hace su conmutacion, es decir, corta la línea telegráfica y la pone con el electro-iman del reloj. Y cinco segundos despues de la hora, hace la conmutacion inversa, y restituye la línea al telégrafo, segun se ve, cinco segundos ántes de que el centro horario de las Tullerías la restituya á su vez.

»Como los relojes se arreglan de este modo cada hora, sus diferencias son insignificantes y las operaciones de interrupcion de línea y emisiones de corrientes se suceden casi como queda dicho. Si á pesar de esto se pára ó desarregla de pronto un reloj, se emite la corriente del centro horario al telégrafo de la alcaldía treinta segundos seguidos, hecho anormal que anuncia al punto al telegrafista que el reloj se ha desarreglado, con lo cual puede dar las órdenes para su remedio.»

En resúmen, el sistema adoptado por la ciudad de Paris para la distribucion y la unificacion eléctrica de la hora en los relojes públicos de la gran ciudad, reune la doble ventaja de la solidaridad de sus diferentes partes y de su independencia. Por lo demás, la regularidad y continuidad del servicio están aseguradas mediante las disposiciones siguientes. El Observatorio tiene á su disposicion un péndulo de gran precision, construido por M. Fenon, para comprobar y suplir en caso necesario al péndulo de los sótanos. Asimismo dispone de un conmutador con el cual se puede formar uno solo de los dos circuitos, intercalando en ellos, no solamente las dos pilas reunidas, sino tambien los contactos de segundo de alguno de los péndulos cabezas de línea, de suerte que uno de ellos sirva de guía á todos los relojes de los dos circuitos urbanos, y se pueda disponer del otro para limpiarlo ó componerlo.

IV

CRONÓGRAFOS Y CRONOSCOPIOS

Se utiliza tambien la propiedad que tiene la electricidad de propagarse casi instantáneamente para medir con exactitud intervalos de tiempo muy cortos, por ejemplo, el que invierten los proyectiles en recorrer la distancia entre la boca del arma y el blanco. Dase el nombre de *cronógrafos* ó *cronoscopios* á los aparatos ideados con este objeto, reservándose más especialmente la primera de estas denominaciones para los aparatos que inscriben esta duracion y conservan su huella estampada. El nombre de Wheatstone figura tambien en los principios de esta ingeniosa aplicacion de la electricidad, y el cronoscopio que ideó en 1840 estaba construido del modo siguiente:

En la estacion de tiro, en A, hay un aparato de relojería C con un peso por motor y susceptible de marcar en dos cuadrantes distintos E, D, décimas y milésimas de segundo. Detrás de la caja que contiene dicho aparato hay un electro-iman provisto de una armadura, que, atraida por la corriente de una pila, contiene el movimiento y pára el reloj. De esta disposicion resulta que si la corriente cesa de funcio-

nar al salir el proyectil y se restablece cuando éste da en el blanco, el reloj andará solamente durante su trayecto, y por lo tanto indicará su duracion exacta. Hé aquí cómo se realiza esta condicion. La pila P comunica por una parte con el cronoscopio, por otra con el blanco M, y por un hilo derivado con el cañon C. El hilo *f* pasa por delante de la boca H del arma.

Un poco ántes de dar principio al experimento, se cierra el circuito derivado y la corriente pasa; con lo cual queda parado el reloj. Entónces se manda disparar; la bala corta el

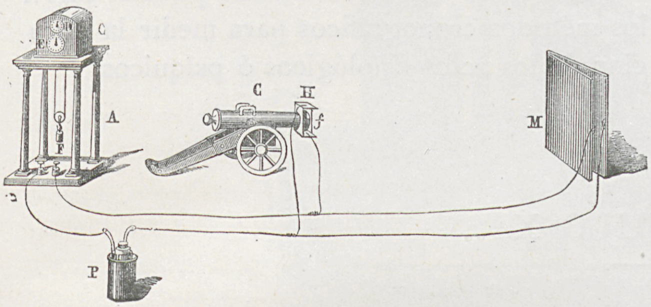


Fig. 988.—Cronoscopio de Wheatstone

hilo, el circuito se rompe, y el reloj echa á andar hasta el momento en que, dando el proyectil en el blanco, pone en contacto los dos hilos empalmados á éste y cierra de nuevo el circuito. El reloj se pára de nuevo, y la marcha de las agujas en los dos cuadrantes indica en segundos y fracciones de segundo la duracion exacta del trayecto.

M. Wheatstone no dejó de reconocer los inconvenientes de este primer aparato; el magnetismo remanente de la armadura era causa de que su contacto se mantuviera un poco despues de la rotura de la corriente; por otra parte, los movimientos de las agujas tampoco cesaban en el mismo momento de dar la bala en el blanco; por pequeñas que fuesen estas diferencias bastaban para hacer inciertas las indicaciones del cronoscopio, sobre todo tratándose de tan pequeñísimas fracciones de segundo. El inventor logró remediar en parte estas causas de error, no valiéndose al principio sino de una corriente de escasa intensidad y poniendo los hilos del circuito de modo que en el momento del choque en el blanco, actuara una pila más enérgica para cerrar el circuito y dar el movimiento conveniente á la armadura.

M. Hipp ha modificado tambien el cronoscopio Wheatstone, haciendo independientes los movimientos del reloj y los de las agujas indicadoras; tanto si están estas en reposo como si no lo están, el mecanismo de relojería continúa su marcha. Las agujas sólo se mueven miéntras dura la marcha del proyectil.

Nos limitaremos á mencionar: el cronoscopio de Pouillet, fundado en la magnitud de la desviacion que una corriente de intensidad conocida imprime á la aguja de un galvanómetro, segun el tiempo que invierte en pasar la corriente;—el cronógrafo de Breguet y Constantinoff, que consiste en un cilindro giratorio, en cuya superficie hay dos puntas sostenidas por electro-imanes, las cuales trazaban sucesivamente una línea cuando el proyectil rompia dos hilos á su partida y á su llegada, é interrumpia así los circuitos; la posicion de las líneas trazadas en el cilindro indicaba la fraccion de vuelta recorrida por este último durante la marcha del proyectil;—el cronógrafo del capitan Navez, que ha dado muy buen resultado en muchos experimentos balísticos hechos en Bélgica y en Holanda;—los cronógrafos de M. Martin de Brettes, con los cuales ha podido este ilustrado capitan de artillería comprobar la velocidad inicial de los proyectiles y la que llevan en cualquier punto de sus trayectorias;—el cronoscopio de puntas de M. Breguet; y por último, el electrodiapason de movimiento continuo de M. Mercadier. En este aparato ingenioso, un electro-iman atrae uno de los brazos de un diapason, miéntras el otro brazo, provisto de un alambre de platino, se pone por medio de un hilo en contacto con un disco del mismo metal y cierra el circuito de una pila; la corriente pasa, el electro-iman funciona, el diapason vibra por sí mismo, y su movimiento continúa mientras la pila está en accion. Poniendo en el primer brazo un estilete anotador, se pueden inscribir en un cilindro en movimiento, dado de negro de humo, las vibraciones del diapason, cuya duracion se determina fácilmente y permite medir hasta céntimos de segundo. Si se inscribe en el mismo cilindro un fenómeno cualquiera, se medirá su duracion con igual exactitud.

M. Wheatstone ha aplicado los métodos cronoscópicos al estudio y comprobacion de las leyes de la caida de los cuerpos. En el pri-

mer tomo de esta obra hemos descrito dos aparatos que sirven para lo mismo y que no son otra cosa sino cronógrafos eléctricos. En el primero, se utiliza el interruptor de una bobina Ruhmkorff para hacer brotar una serie de chispas entre un cilindro metálico cubierto de una hoja de papel y la punta de platino que lleva el grave en su caida. Las huellas dejadas por las chispas en el papel trazan una curva cuyas abscisas horizontales marcan los tiempos trascurridos desde el orígen de la caida. Puede darse á este aparato el nombre de *cronógrafo de chispas*. El segundo aparato anotador, el de Bourbouze, consiste en un cilindro cuya velocidad de rotacion es uniforme ó acelerada, segun que el peso que lo arrastra tenga en su caida un movimiento uniforme ó acelerado. Una lengüeta vibrante traza con su punta en la superficie ennegrecida del cilindro sinuosidades cuyos intervalos permiten comprobar las leyes de la caida del grave.

Tambien se hace uso de los cronógrafos para averiguar la diferencia de longitud entre dos puntos dados, enlazados telegráficamente; y para medir la velocidad de la luz, segun dijimos en el capítulo correspondiente del segundo tomo del MUNDO FISICO. Por último, M. Marey ha demostrado cómo pueden servir los métodos cronográficos para medir la duracion de los actos fisiológicos ó psíquicos.

CAPÍTULO X

LOS MOTORES ELECTRICOS

I

MOTORES ELÉCTRICOS OSCILANTES

El principio de los movimientos con cuyo auxilio se efectúan y trasmiten los signos en la telegrafía y en la relojería eléctricas es la fuerza viva de las corrientes de la pila ó de las de induccion; en una palabra, se emplea la electricidad como agente mecánico ó fuerza motriz. Pero el empleo de esta fuerza no consiste en desarrollar potencia, y áun á menudo sólo sirve para regular el juego de otra fuerza, la de la gravedad por ejemplo, cuya accion se puede suspender ó restablecer periódicamente, merced á ella.

¿Es posible emplear directamente la electricidad como fuerza motriz, es decir, utilizarla como el vapor en las máquinas que, despues de producir y almacenar cierta cantidad de movimiento, lo distribuyen á otras máquinas, en las que se le encuentra trasformado segun las necesidades industriales? Esta cuestion ha recibido muchas soluciones positivas y prácticas, pero ya veremos hasta qué punto.

Aunque se hace mencion de varias tentativas antiguas como la de Salvator del Negro, en Padua, que construyó en 1831 una máquina en la que oscilaba un iman entre los polos de un electro-iman, y la del aleman Jedlick inventor de una máquina electro-motriz de rotacion directa, debe atribuirse á Jacobi de San Petersburgo la primera invencion formal de este género. En 1839 se hizo un ensayo en grande de la máquina de este físico. «Se la aplicó, dice Du Moncel, á poner en marcha una lancha con doce personas y provista á este efecto de ruedas de paletas. Es cierto que se pudo navegar muchas horas por las aguas del Newa; mas áun cuando la fuerza desarrollada procedia de una pila de 128 grandes elementos Grove, jamás pudo exceder de tres cuartos de un caballo de vapor. Tan pobre efecto mecánico producido por una corriente tan enérgica, desanimó completamente al inventor, que desde entónces ha considerado siempre impracticable esta aplicacion de la electricidad á los trabajos industriales.»

Siguiendo á M. Verdet, dividiremos las máquinas electro-magnéticas en dos clases, correspondientes á dos tipos distintos, la de las *máquinas oscilantes* y la de las *rotatorias*, y daremos ante todo algunos ejemplos de cada

uno de estos tipos cuya importancia no ha pasado de ser teórica hasta estos últimos tiempos. Despues nos ocuparemos de los motores cuya invencion es de fecha más reciente, y que son los únicos usados en la actualidad.

Digamos desde luégo cuáles son los principios característicos de estos dos tipos de máquinas. «En las *máquinas oscilantes*, una hélice ó un electro-iman fijo atrae, cuando lo atraviesa una corriente voltaica de direccion conveniente, otra hélice ó electro iman, ó una barra imantada, ó un simple pedazo de hierro dulce. Cuando la pieza móvil se acerca á ponerse en contacto con la fija, el juego de la máquina hace mover un conmutador por el cual la atraccion se cambia en repulsion, ó se reemplaza

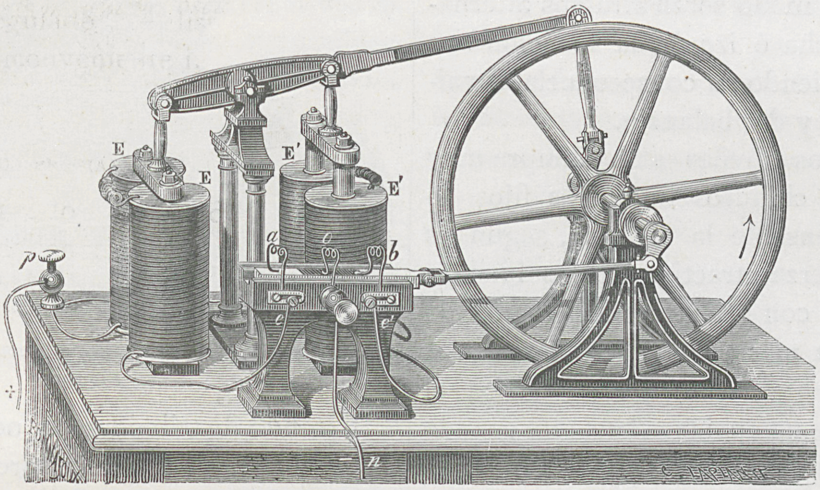


Fig. 399.—Máquina electromotora, sistema Pourbouze

por la atraccion de otra pieza situada en posicion opuesta. Invertida de este modo la direccion del movimiento, y repitiéndose estas atracciones indefinidamente, se puede sacar de ellas el mismo partido que de las oscilaciones del émbolo de la máquina de vapor. En las *máquinas rotatorias*, las piezas móviles y fijas están colocadas siguiendo los rayos de dos ruedas concéntricas; el paso de la corriente hace marchar la rueda móvil hácia una posicion de equilibrio estable, pero en el momento de llegar á ella, el juego del conmutador cambia el sentido de la accion de las fuerzas, y el movimiento de rotacion continúa indefinidamente en el mismo sentido.» (Verdet.)

La máquina electromotriz de Bourbouze pertenece al primer tipo, siendo sus disposiciones esenciales las siguientes:

A cada lado de un árbol vertical terminado en un balancin como en las máquinas de vapor hay dos hélices magnetizantes E E, E' E' dispuestas por pares, las cuales hacen las veces de cilindros ó cuerpos de bomba. Interiormente, y hasta la mitad de la altura de las bobinas hay unos cilindros de hierro dulce que se imantan cuando la corriente de la pila pasa por las espiras de cada hélice. En los extremos del balancin se articulan dos barras, cada una de las cuales lleva dos cilindros de hierro dulce que se mueven libremente penetrando en las bobinas y que son atraidas alternativamente por las barras imantadas tan luégo como la corriente las comunica su fuerza magnetizante. Compréndese, pues, que si la corriente pasa sucesiva y alternativamente por cada par de hélices, resultará un movimiento de vaiven de los cilindros y de sus barras, y por consecuencia un movimiento circular alternativo del balancin. Mediante una biela y una excéntrica, este movimiento se trasforma en circular continuo del árbol motor de la máquina y de su volante.

Réstanos demostrar cómo se introduce la corriente sucesivamente en las espiras de cada hélice. Con este objeto, el árbol motor de la máquina lleva una excéntrica que hace que se deslice por una corredera una placa de marfil *aob*, cubierta de una tira metálica en una parte de su longitud.

El hilo positivo de la pila comunica por *p* con los dos electro-imanes, y cada uno de estos con uno de los extremos inferiores de su corredera que, en su mitad *o*, comunica por su parte con el polo negativo de la pila. Suponga-

mos que la placa *ab* ocupa la posicion indicada en el grabado (1). La corriente sigue entónces el camino *pEeaon*, porque el circuito está cerrado al pasar por las espiras de las bobinas E, E. La excéntrica al moverse hácia la derecha abrirá este circuito, pero cerrando al propio tiempo el que pasa por E′ E′, de suerte que el hierro dulce de este electro-iman se imantará á su vez. De este modo serán atraidos alternativamente á derecha é izquierda los cilindros de hierro dulce, siendo su consecuencia el vaiven de las barras y del balancin.

Los dos cilindros móviles están siempre muy inmediatos á los cilindros interiores fijos, lo cual hace indispensable la ley que, segun es sabido, rige la fuerza atractiva de los imanes, fuerza que crece con gran rapidez, á medida que se aproximan más al contacto las masas atraidas y atrayentes. Por esto se alarga el balancin mediante una palanca bastante grande para que el movimiento comunicado á la biela del árbol motor sea de suficiente amplitud.

Como se ve, es muy fácil comprender este modo de trasformacion del movimiento producido por la atraccion electro-magnética en un movimiento alternativo, que la mecánica sabe trasformar en movimiento circular continuo.

II

MOTOR ELÉCTRICO DE ROTACION CONTINUA

Veamos ahora un tipo de máquina electromagnética que da directamente un movimiento de rotacion continuo. A este fin tomaremos por ejemplo el electromotor Froment, representado en la figura 400.

Consta de seis pares de electro-imanes—en el grabado no hay más que cuatro para que se puedan ver las ruedas móviles y sus armaduras—colocados segun los radios de una circunferencia y fijos al armazon de hierro de la máquina que lleva el árbol motor, árbol cuyo eje horizontal coincide con el centro de la misma circunferencia. Dos ruedas concéntricas á esta llevan ocho armaduras de hierro dulce, alineadas paralelamente al eje de rotacion, las cuales, durante el movimiento, se colocan dos á dos delante de los polos de los electro-imanes.

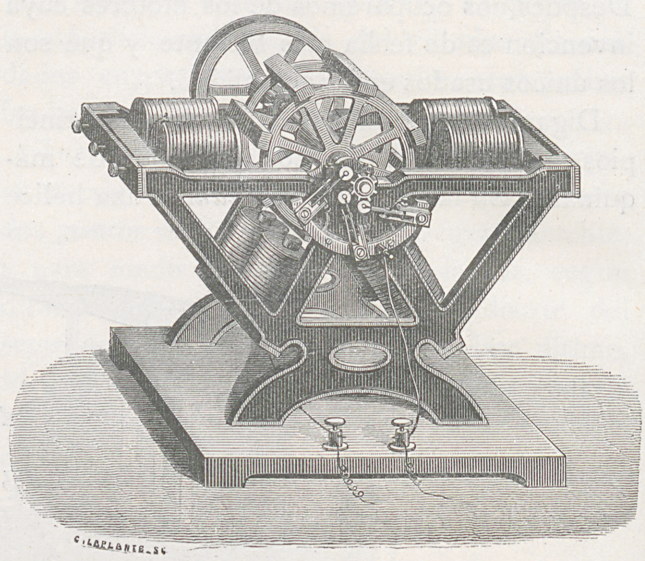


Fig. 400.—Máquina electromotora de rotacion continua, sistema Froment

Estando distribuidas las ocho armaduras á intervalos iguales en la circunferencia de la rueda móvil, y no siendo más que seis los electro imanes, distribuidos del mismo modo, cuando dos armaduras opuestas estén precisamente enfrente de los dos electro-imanes E E, las otras estarán ántes ó despues, segun el sentido del movimiento. Supongámosle en el

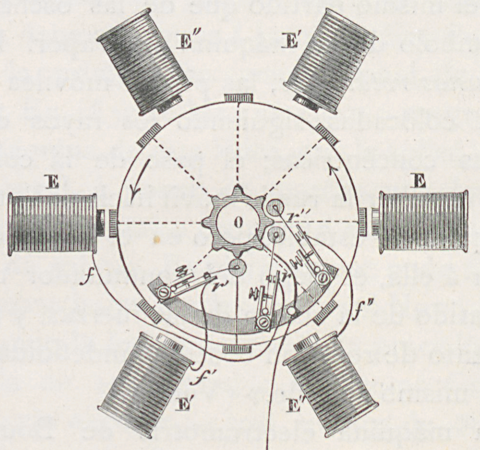


Fig. 401.—Electromotor Froment; accion de las corrientes sobre las armaduras

de las flechas, ó de derecha á izquierda. En este caso, la corriente de la pila pasa por las bobinas E′ E′, y deja las E E. Las armaduras que siguen en el sentido del movimiento serán atraidas, y el movimiento continuará en el mismo sentido hasta que dichas armaduras lleguen delante de los polos E′ E′. En este momento, la corriente se desvia de estas últi-

(1) Se ha padecido un error al dibujar en la figura la posicion de esta corredera. El hilo *a* es el que debe tocar la placa metálica, miéntras que *b* descansa sobre el marfil. Rogamos al lector que suponga corregido este error para comprender la explicacion del texto.

mas bobinas para pasar á E″ E″, y entónces las armaduras siguientes serán las atraidas, y así indefinidamente. Claro está que en una vuelta entera habrá tantas atracciones cuantas sean las veces que el ángulo de avance de los electro-imanes esté contenido en la circunferencia, es decir, veinticuatro (porque la diferencia entre $^1/_6$ y $^1/_8$ es efectivamente $^1/_{24}$).

Estas interrupciones y pasos alternativos de la corriente se obtienen con un distribuidor, cuya disposicion y cometido se comprenderán fácilmente examinando las figuras 401 y 402.

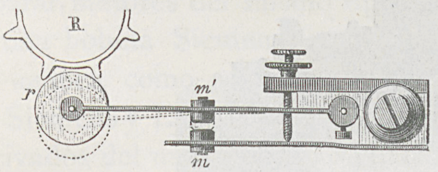


Fig. 402.—Distribuidor de la máquina electromotora de Froment

Este distribuidor consiste en una rueda R centrada en el eje de rotacion, provista de ocho dientes, número igual al de las armaduras, y moviéndose con estas; dicha pieza está en comunicacion constante con el polo positivo de la pila. Este distribuidor lleva además tres muelles *r r′ r″* fijos á un sector circular inmóvil y enlazado cada cual con los pares diametralmente opuestos de los imanes por medio de los hilos *f f′ f″*, cuyos muelles tienen sus extremos situados, con relacion á los dientes de la rueda, del mismo modo que lo están las bobinas relativamente á las armaduras de hierro dulce. Cuando dos de estas se hallan exactamente enfrente de E E, el muelle *r* que comunica con los electro-imanes E E, está delante de un diente que acaba de soltar, al paso que *r′* toca el diente anterior y cierra el circuito en las bobinas E′ E′. A la vigésima-cuarta vuelta, *r′* soltará el diente y *r″* tocará otro á su vez, lanzando la corriente á las bobinas E″ E″. En una palabra, el circuito se cerrará á cada fraccion de vuelta igual á $^1/_{24}$, y por el muelle puesto en contacto con un diente pasará á las bobinas que se hallan delante de las armaduras la misma cantidad angular. La corriente vuelve al polo negativo por un hilo comun, despues de animar cada par de carretes, pero no cesa de actuar sobre un electro-iman hasta haber pasado al siguiente, disposicion ingeniosa merced á la cual se debilita la chispa producida en virtud del nacimiento de la extra-corriente. De este modo se atenúa en gran parte la oxidacion de los contactos que esta descarga causa á la larga.

III

MOTORES ELÉCTRICOS ACTUALES

El motor Froment que acabamos de describir figuraba tambien en la Exposicion de Electricidad entre los objetos que constituian las colecciones retrospectivas. En este artículo presentaremos algunos curiosos ejemplos del uso á que los habia destinado el inventor. Algunos electromotores fundados en el mismo principio, otros basados en la atraccion y repulsion simultáneas de los electro-imanes han ofrecido escaso interés porque sus aplicaciones son muy limitadas. Sólo se puede exigir de ellos servicios que requieran poco consumo de trabajo, como dar vueltas á una rueda de ventilacion, á una moleta para grabar sobre cristal ó poner en movimiento juguetes científicos.

Hasta estos últimos años no han fijado los físicos sus miras, sus ideas y sus proyectos en una aplicacion más racional de la fuerza eléctrica, apelando para ello á un principio de mecánica formulado por Carnot, el de la reversibilidad. Calcularon que si, consumiendo cierta cantidad de fuerza, produciendo cierta cantidad de movimiento en una máquina electro-dinámica, se obtenia por resultado una corriente eléctrica de cierta intensidad, recíprocamente, proporcionando á la misma máquina ó á otra semejante una corriente eléctrica, se la debia poner en movimiento. En una palabra, en la primera hipótesis el trabajo se trasforma en electricidad; en la segunda ésta es la que se trasforma en aquél. La comprobacion de este principio no podia ménos de dar la razon á la teoría, y á ella procedió uno de nuestros más ilustrados electricistas, H. Fontaine, á quien se le ocurrió la idea, en la Exposicion de Viena de 1873, de acoplar á alguna distancia dos máquinas Gramme. Una de ellas estaba movida por un motor de gas: las corrientes producidas así pasaban por un alambre á la segunda máquina á un kilómetro de distancia de la primera, la ponian en movimiento y la permitian hacer funcionar una bomba centrífuga. Desde

entónces ningun inventor de máquinas electro-dinámicas de movimiento continuo ha dejado de aplicarles el principio de la reversibilidad, de suerte que se las puede utilizar á beneplácito como generadores de electricidad ó como electromotores. Más adelante nos ocuparemos de los grandes motores de esta categoría, cuando tratemos de la importante cuestion suscitada por esta nueva aplicacion, y al decir esto nos referimos á la *trasmision de la fuerza á grandes distancias.*

M. Deprez, que ya en 1848 concibió la idea de trasformar la máquina electro-dinámica de Siemens en electro-motor, aplicó por primera vez la reversibilidad á los pequeños motores, á aquellos cuya fuerza se mide por unos cuantos kilográmetros. Muy pronto conoció la ventaja que resultaba de tomar por inductor, en vez de un electro-iman, un iman permanente cuya masa debia ser grande relativamente á la del electro-iman móvil. Luégo, en lugar de colocar la bobina trasversalmente

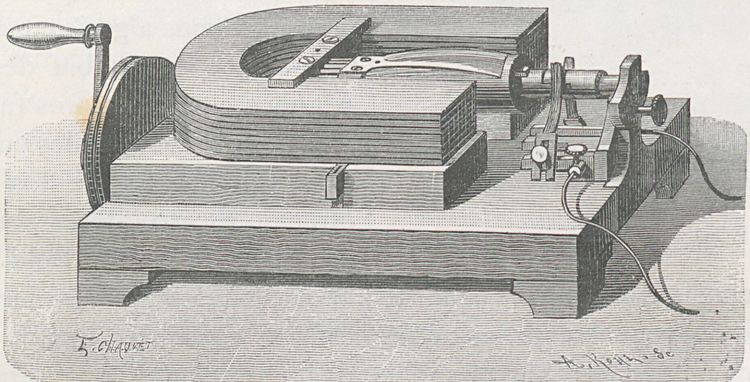


Fig. 403.—Motor eléctrico de Marcelo Deprez

como la ponia Siemens en su primera máquina magneto-eléctrica, M. Deprez la puso paralelamente á los brazos del iman, para aprovechar así mejor la potencia magnética de este último. La figura 403 muestra la disposicion adoptada por el inventor.

Entre los brazos de un iman permanente de herradura, formado de muchas placas superpuestas, se ve la bobina Siemens de doble T, que gira sobre su eje cuando la corriente de una pila, pasando por los penachos de laton de un conmutador de inversion de polos, atraviesa la bobina y polariza sus superficies polares. La atraccion de los polos de nombres contrarios y la repulsion de los del mismo nombre ocasionan el movimiento de rotacion que cambiaria de sentido á cada media vuelta á no ser por el cambio de sentido de la corriente que produce el conmutador. Los penachos están fijos en un sistema móvil alrededor del eje de la bobina que, inclinándolos más ó ménos, permite desviar á beneplácito sus puntos de contacto de la hendidura del conmutador, de modo que se pueda graduar la velocidad engendrada por una corriente de intensidad dada; tambien se puede cambiar el sentido de la rotacion sin tocar los hilos de pila, para lo cual basta inclinar lo suficiente el sistema de penachos para que sus contactos con las chapas del conmutador sean alternos.

El motor Deprez lleva tambien un regulador de velocidad, el cual consiste en un pequeño muelle que comunica por un lado con una de las puntas del hilo de la bobina; por el otro hay un tornillo de gradacion que presenta su punta á una pieza de platino soldada al conmutador. Este extremo del muelle es más grueso que el otro, y con el aumento de velocidad tiende á desviarse por efecto de la fuerza centrífuga. Entónces cesa el contacto con la punta del conmutador, se rompe el circuito; la velocidad disminuye, y cuando ésta recobra su valor normal se cierra aquél de nuevo.

M. d'Arsonval ha hecho muchos experimentos sobre el *producto de los motores eléctricos*, resultando de ellos que los del sistema Deprez pueden prestar grandes servicios, cuando el trabajo que se necesita no pasa de 2 ó 3 kilográmetros por segundo. Un pequeño modelo, cuya bobina sólo tenia 30 milímetros de diámetro por 35 de longitud y pesaba 200 gramos, cuyo iman pesaba 1,700 gramos y cuyo peso

total no llegaba por consiguiente á 2 kilógramos, ha suministrado con 5 elementos Bunsen un trabajo de 51 kilográmetros por segundo con una velocidad de 204 vueltas. Cada gramo de zinc consumido en la pila daba lo ménos 134 kilográmetros. Otro modelo, cuya bobina pesaba 400 gramos y el iman 1,700, dió 2,5 kilográmetros por segundo con una velocidad de 3,000 vueltas por minuto: proporcionaban la corriente 8 elementos Bunsen planos, modelo de Ruhmkorff.

Arsonval dedicó tambien sus experimentos á comparar motores del mismo tipo, compuestos de una bobina Siemens que giraba entre electro-imanes, como están dispuestas las máquinas Siemens y Ladd, y otros motores pequeños derivados del mismo sistema, habiendo deducido que, sea cualquiera la agrupacion de los dos circuitos, fija ó móvil, y ya se los reuna en tension, ó en derivacion ó se los ponga independientes, los *motores de imanes permanentes dan un producto superior á los mismos motores de electro-imanes*. Por estas razones se ha decidido Deprez á conservar el iman permanente en su motor eléctrico.

La mayor parte de los pequeños motores eléctricos que se han discurrido desde la construccion del que acabamos de describir están basados en el mismo principio, el de la rotacion de una bobina Siemens, ora entre los brazos de un iman permanente ó bien entre los de un electro-iman. En el motor Trouvé, el electro-iman en forma de U recibe primero en su hilo la corriente de la pila que pasa en seguida al de la bobina móvil. Las caras polares de esta están ligeramente descentradas; «en lugar de ser porciones de un cilindro cuyo eje coincide con el del sistema, dice el inventor, tiene la forma de caracol, de suerte que al girar acercan gradualmente sus superficies á las del iman. Entónces empieza la accion de repulsion, de modo que se evita prácticamente el punto muerto (1). «Los brazos del electro-iman del motor Trouvé llevan un marco de cobre, en el cual están fijos los diferentes accesorios, penachos frotadores, contra-puntas entre las cuales oscila la bobina, etc.» Hay una rueda dentada montada verticalmente por un puente sobre el electro-iman, de manera que responda á todas las aplicaciones gracias á la variedad de sus trasmisiones, ya por medio de una cuerda, ó de una cadena Galle ó Vaucanson, ó bien por engranaje. Un modelo de 3,300 gramos de peso, desarrolla 3,5 kilográmetros por segundo; la pila que lo pone en accion es de bicromato de potasa, cuyo consumo equivale á un gramo de zinc por 94 kilográmetros. M. Trouvé duplica ó triplica el número de bobinas y de baterías que las ponen en accion, para obtener mayores fuerzas.

Más adelante volveremos á hablar de ello al mencionar sus aplicaciones á las máquinas de coser, á la navegacion marítima y á la aérea. A las primeras se ha aplicado más especialmente otros pequeños motores eléctricos, que como los de Griscom, Burgin, Borel, etc., llamaban la atencion en la Exposicion de 1881.

Hemos dicho más arriba que los motores eléctricos de inversion de corriente, ya sean magneto-eléctricos ó ya dinamo eléctricos, no se pueden utilizar sino cuando el trabajo no pasa de algunos kilográmetros por segundo. Para fuerzas mayores, hay que apelar á las máquinas de corriente continua, como las de Gramme. Y en efecto, segun veremos, se ha recurrido á esta clase de motores para lograr la solucion de un problema de mecánica práctica de gran interés, el de la *trasmision de la fuerza á larga distancia.*

Se puede hacer uso de los motores del tipo Deprez en muchos casos en que no se necesita gran fuerza; ya hemos hecho mencion de las máquinas de coser; las de cortar, los tornos de relojero y todas las herramientas que requieren regularidad y precision con escasa fuerza se hallan en el mismo caso. Motores Deprez son

(1) Para evitar el inconveniente del punto muerto que es consecuencia de la inversion de sentido de la corriente á cada media vuelta de la bobina, fraccionó Deprez la armadura de Siemens en dos partes iguales en el sentido de la longitud, pero disponiéndolas de modo que formasen un ángulo de 90°. El producto de un motor cuyas bobinas, así conjugadas en ángulo recto, estaban situadas en el mismo iman, resultó considerablemente disminuido; pero fué mucho mayor cuando se dió á cada bobina un iman excitador separado. Parece desprenderse de aquí que la supresion del punto muerto, que puede ser útil en ciertas circunstancias, no es ventajosa desde el punto de vista económico. ¿Son preferibles las otras disposiciones encaminadas al mismo objeto? No lo cree así M. d'Arsonval, quien piensa que la modificacion de las caras en las bobinas de inversion de corrientes sólo resuelve el problema en apariencia, que en realidad no hay otros motores sin puntos muertos sino los que tienen dos bobinas en ángulo recto, á no ser que se trate de máquinas provistas de colector de Gramme, que desarrollen durante su rotacion una fuerza electromotriz continua.

los que ponen en movimiento los aparatos telegráficos del sistema múltiple impresor Baudot.

En la Exposicion internacional de Electricidad llamaban la atencion dos aplicaciones del motor Trouvé de las que vamos á decir algunas palabras. En el estanque del centro del palacio navegaba una lancha movida por la electricidad. Algunos meses ántes se habian hecho análogos experimentos en el Sena y en el lago del bosque de Boloña con resultado muy satisfactorio; en los practicados en el rio, la lancha, tripulada por tres personas, remontó

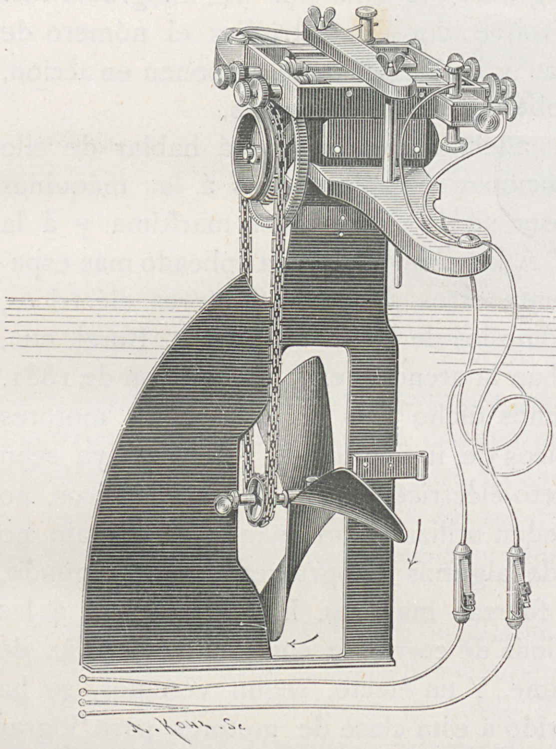


Fig. 404.—Motor de hélice de la lancha Trouvé

fácilmente su curso con la velocidad de un metro por segundo, y á la bajada adquirió la de 2^{m},50. El motor, situado en la parte superior del timon, era un motor eléctrico Trouvé de dos bobinas, puesto en accion por dos baterías de bicromato de potasa instaladas en medio del barco. En la fig. 404 se ve cómo se comunicaba el movimiento, por medio de una cadena Vaucanson, á una hélice encajada en la parte inferior del timon. La comunicacion de las pilas con los órganos motores se efectúa por medio de unos cordones metálicos flexibles que sirven tambien para la maniobra del timon, recubiertos varias veces de seda y de algodon y en último lugar de un tubo de cautchuc que los preserva de la humedad y de cualquier percance. El que dirige el barco lleva en cada mano uno de estos cordones, sosteniéndolos por un mango adaptado á su mitad y provisto de un contacto; con un simple movimiento del pulgar sobre este contacto puede poner el motor en accion ó detenerlo inmediatamente.

Esta ingeniosa aplicacion de los motores eléctricos á la navegacion, ¿puede hacerse extensiva á los buques de cierto número de toneladas? Hecha la pregunta en esta forma, la respuesta nos parece cuando ménos dudosa. En efecto, la pila no tan sólo es una generatriz costosa de electricidad, sino tambien molesta y de duracion muy limitada. Miéntras no se descubra un generador de mayor potencia, un acumulador en el que en pequeño volúmen se pueda almacenar una cantidad algo considerable de energía eléctrica, parécenos evidente que la navegacion por la electricidad quedará limitada á las embarcaciones menores y será cuestion de lujo y de curiosidad.

Lo mismo puede presumirse, aunque sólo en parte, por lo que respecta á la navegacion aérea eléctrica. En efecto, la gran ventaja de un motor eléctrico sobre uno de vapor consiste en que no tiene fuego ni produce humo, ventaja de importancia capital cuando el aparato es un globo lleno de hidrógeno, es decir, de un gas esencialmente inflamable. Así pues, en este caso toda la cuestion quedará reducida á la invencion de un acumulador de peso muy reducido, con relacion á la fuerza almacenada. Otra ventaja del motor eléctrico está en conservar un peso constante, sin necesidad de abandonar al aire los productos de la combustion que, deslastrando de continuo el globo, tienden á remontarlo por la atmósfera.

Los motores eléctricos que acabamos de describir no pueden en modo alguno luchar en potencia con los motores ordinarios, como las máquinas de vapor, ni casi se ha logrado construir algunos cuya fuerza equivalga á más de un caballo de vapor. La razon de esto nos la dan los principios de la teoría mecánica del calor; el trabajo de las máquinas electro-motoras es otra de las formas de la potencia calorífica que desarrollan las acciones químicas de la pila; mas como este modo de produccion del calor es mucho más costoso que el que

consiste en quemar el carbon necesario para producir vapor, resulta necesariamente de aquí que la fuerza electro-motriz es mucho ménos económica que la del vapor de agua. Por lo demás, así lo ha confirmado plenamente la experiencia.

Pero si los motores eléctricos ligeros no pueden luchar por tal concepto con la máquina de vapor ó con los demás motores industriales, si por espacio de largo tiempo ha parecido imposible utilizarlos en la grande industria, hay otra clase de servicios que pueden prestar siempre que se trata de obtener una fuerza poco considerable, pero que requiere regularidad, rapidez suma y accion á gran distancia. En tales condiciones, tienen una superioridad aumentada por la facilidad en el modo de hacerlos funcionar, y de interrumpir el trabajo, por la carencia de todo peligro y por el poco espacio que necesitan. Acabamos de presentar algunos ejemplos de las varias aplicaciones de que se les ha reconocido susceptibles: pero desde las primeras pruebas se comprendió la clase de servicios que estaban llamados á prestar. Por esto M. Froment, el hábil y malogrado inventor de la máquina de rotacion directa que hemos descrito anteriormente, se valia de esta clase de máquinas para las delicadas operaciones de mecánica científica á que se dedicaba. Las aprovechaba para mover tornos, máquinas de dividir, esos artefactos de tanta precision que trazaban en un tubo de vidrio divisiones sumamente finas, hasta 1,000 trazos en el espacio de un milímetro. La precision, la delicadeza infinita de esta máquina hacian de ella una maravilla mecánica.

CAPITULO XI

TRASMISION ELÉCTRICA DE LA FUERZA

I

TRASMISION DE LA FUERZA

Anteriormente hemos visto que el principio de la reversibilidad, aplicado á las máquinas eléctricas, habia sido el punto de partida de importantes progresos en la construccion de los motores que sacan de la electricidad toda su potencia. Miéntras el generador de la electricidad ha sido la pila, miéntras el flúido se ha sacado de una combinacion química como la combustion del zinc, operacion costosa y molesta, ha habido necesidad de limitarse á los pequeños motores, á los que dejamos descritos en el capítulo precedente. Pero la cuestion ha variado de aspecto cuando se ha pensado en emplear como máquinas generadoras las grandes máquinas de Gramme, en las cuales el manantial de la electricidad es la fuerza mecánica de un motor cualquiera. Y en efecto, si se hace mover una máquina Gramme por medio del vapor ó de un salto de agua, y en seguida se la pone en comunicacion eléctrica con otra máquina idéntica á la primera, ésta se pondrá en movimiento á su vez, trasformando así en trabajo mecánico la energía eléctrica producida tambien por un trabajo mecánico. Por otra parte, se entiende que en esta trasformacion quedaria absorbida una parte del trabajo de la máquina generadora, en forma de calefaccion de las máquinas y del circuito, y por tanto la utilidad de la trasformacion de la electricidad en trabajo por este sistema de trasmision seria nula y hasta negativa, si no permitiera resolver un problema que hasta el presente no habia tenido solucion: nos referimos al de la trasmision de la fuerza á larga distancia.

En la actualidad, la trasmision de la fuerza del motor, sea rueda hidráulica ó máquina de vapor, está necesariamente limitada á cortas distancias, haciéndose por medio de correas y poleas y de cables teledinámicos. Cuando se hace uso de motores de gas ó se utilizan saltos de agua, se puede trasmitir la potencia del motor por una canalizacion ó emplearla en comprimir el aire que circula en seguida por los tubos, de lo cual hemos visto ejemplos en los grandes

trabajos de perforacion de los túneles de los Alpes, en el collado de Frejus ó en el San Gotardo. Pero en todos estos casos la distancia es forzosamente limitada y además la trasmision exige obras de instalacion costosas. En cambio la electricidad pasa instantáneamente, por decirlo así, de la máquina generadora á la receptora ó motriz, sin más intermediario que un alambre conductor aislado convenientemente.

Más de un interesante ejemplo de la posibilidad de dicha trasmision ha sancionado ya esta nueva aplicacion de la electricidad á los trabajos industriales. Antes de describir algunos de ellos, séanos permitido insistir sobre un punto muy importante, cual es el de saber la influencia que la distancia puede ejercer en el rendimiento de las máquinas y la medida en que debe crecer el diámetro de los hilos con la fuerza que se haya de trasmitir. M. Deprez, que ha hecho un estudio muy completo de este asunto, dice que el rendimiento en cuestion es igual á la relacion de la fuerza contra-electromotriz desarrollada por la rotacion de la segunda máquina, con la fuerza electro-motriz de la primera, y que siendo esta relacion independiente de la resistencia del circuito, el rendimiento es á su vez independiente de la distancia. Teóricamente, un hilo de un diámetro tan pequeño como se quiera podria trasmitir una cantidad de energía ilimitada, pero con la condicion de que la tension eléctrica sea tanto mayor cuanto ménos considerable la seccion del hilo. Esta última condicion es la que impone un límite á la pequeñez de las dimensiones del hilo, á causa de las dificultades de aislamiento para una tension considerable.

Aplicando los principios teóricos expuestos al cálculo del rendimiento que darian dos máquinas Gramme idénticas, enlazadas con un alambre de cobre de 4 milímetros de diámetro, M. Deprez, ha visto que seria el 65 por 100. «Es posible, dice, trasmitir con dos máquinas idénticas del tipo C un trabajo útil de 10 caballos á 50 kilómetros de distancia, por medio de un alambre telegráfico ordinario, siendo de unos 16 caballos la fuerza motriz inicial.»

Fácil es darse cuenta de la inmensa trascendencia que semejante aplicacion tendrá en lo futuro, si llegan á resolverse todas las dificultades que pueden presentarse en la práctica. De este modo, no tan sólo se podrá trasmitir y distribuir en puntos remotos las fuerzas desarrolladas por los motores actuales, sino que muchas fuerzas naturales, inútiles hoy porque los puntos en que se hallan están á gran distancia de los centros de poblacion, repartirán por donde quiera los millares, los millones de caballos de que consta su potencia actualmente perdida. Lleguemos ahora á los experimentos realizados ya, y que prueban que la trasmision eléctrica de la fuerza no ha quedado reducida al estado de mera teoría. Hemos dicho ya que M. H. Fontaine hizo la primera aplicacion del principio de la reversibilidad en la Exposicion universal de Viena de 1873. A continuacion siguieron la aplicacion de la electricidad á las faenas agrícolas realizada por M. Félix en Sermaize y por M. Menier en Noisiel, la instalacion en Berlin de los caminos de hierro y tranvías eléctricos de M. Siemens y por último la reunion en la Exposicion de Electricidad de estas diferentes aplicaciones que vamos á describir rápidamente.

II

LABRANZA Y OTRAS FAENAS AGRICOLAS POR LA ELECTRICIDAD

Durante el mes de mayo de 1879, M. Félix hizo un experimento interesante en su explotacion de azúcar de remolacha sita en Sermaize (Marne), experimento que tenia por objeto la labranza por medio de la electricidad, valiéndose al efecto de un sistema de trasmision que enviaba la corriente y la fuerza desde la fábrica hasta el campo donde se hacia el ensayo. Hé aquí cuál era la disposicion adoptada.

El arado que se habia de poner en movimiento era doble y de inversion, con tres rejas á cada lado, en una palabra, parecido á los que se usan en la labranza por vapor. En dos cabrias colocadas en los extremos del surco que se debia trazar se enrollaba por un lado y se desenrollaba por otro el cable de acero que arrastraba el arado. Cada una de las carretas de cuatro ruedas que llevaban las cabrias contenia además dos máquinas Gramme puestas en movimiento por la corriente eléctrica enviada desde la fábrica, en donde habia otras dos máquinas Gramme, movidas por la de vapor,

enlazadas á cada cabria por dos alambres de 30 á 40 milímetros cuadrados de seccion. El movimiento de las máquinas motoras se comunica á cada cabria del modo siguiente: En cada carreta hay un árbol central que lleva en uno de sus extremos una polea movida por la frotacion de unas ruedas macizas que corren por las máquinas; en el otro extremo tiene dos piñones, uno de los cuales engrana en la cabria al paso que el otro ejerce su accion en el eje de las ruedas. Cuando el surco queda terminado en una direccion, se da vuelta á un conmutador que hace pasar la corriente á las máquinas Gramme de la segunda cabria; la cual empuja á su vez el arado en sentido opuesto. Trazados ya los dos surcos, la accion de las máquinas sobre el segundo piñon del árbol central hace que las carretas avancen á su vez. Hé aquí ahora algunos detalles suministrados por M. Barral sobre los resultados obtenidos en este experimento: «En condiciones ordinarias, dice, se toma una fuerza de treinta caballos de las máquinas motoras de la fábrica, pudiendo trasmitirse la de quince hasta 2 kilómetros de distancia para empujar el arado. El aprovechamiento de esta fuerza es pues de 50 por 100; pero disminuye con la distancia, y á 5 ó 6 kilómetros ya no es más que de un 40 por 100. Todavía quedan grandes progresos que realizar por este concepto; el empleo de aisladores más perfectos es un problema por resolver. Por lo demás, no debe recelarse el hacer uso de aparatos de más potencia cuando la importancia de la explotacion lo permite, con lo cual se podrá irradiar la fuerza á muchos kilómetros alrededor del centro de la finca. Fácilmente se comprenderá que en lugar del arado se pueden amarrar al cable rastrillos, rodillos, layas, sembradoras, segadoras, y en una palabra todos los útiles y herramientas que sirven para la labranza. El precio de estos, comprendiendo las dos máquinas Gramme de la fábrica, las dos cabrias con sus máquinas eléctricas, los cables de traccion y los conductores de cobre para 1 ó 2 kilómetros asciende á unos 50,000 francos. Estas máquinas pueden servir tambien para cualquier otro uso, y en caso necesario para el alumbrado eléctrico.»

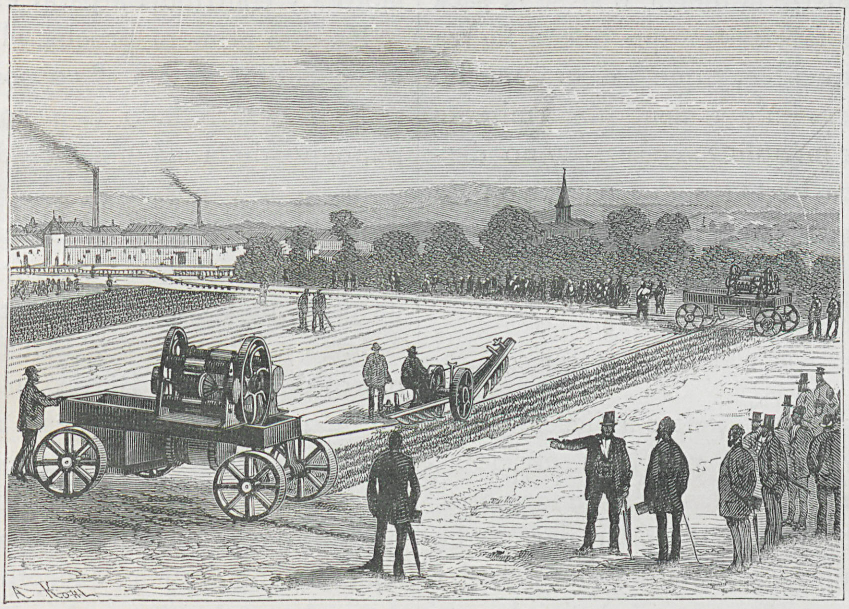


Fig. 405. — Experimento de labranza por medio de la electricidad

Asegúrase que el arado de Sermaize labra de 30 á 40 áreas por hora, ó sea de 3 á 4 hectáreas en diez horas de trabajo. Los señores Félix y Chretien han empleado el mismo sistema de trasmision para descargar los barcos que llevaban las remolachas á la fábrica y cargar los wagones que conducian el azúcar á la refinería; M. Arbey para hacer funcionar dos sierras, una rotatoria que servia para convertir en tablones troncos enteros de árboles, y otra vertical que hacia trabajos más delicados; M. Chenot, para machacar piedra y para un martinete muy ingenioso. M. Barral, de quien tomamos una parte de estos detalles, menciona tambien la aplicacion de la electricidad

para poner en movimiento bombas centrífugas.

Volviendo á la labranza eléctrica, añadiremos que tambien la ha probado M. Menier en su propiedad de Noisiel. Allí, la fuerza motriz que ponia en movimiento las máquinas generadoras Gramme, era un salto de agua, que ofrecia naturalmente mucha más ventaja que el vapor desde el punto de vista económico. Compréndese por lo demás que la trasmision eléctrica de la fuerza, de la que acabamos de describir ó citar algunas aplicaciones, será sobre todo conveniente en los casos en que la naturaleza suministre la fuerza, ó si se la saca del vapor, en las fábricas en que quede fuerza de esta clase disponible; y que lo será mucho más en las fábricas en que siendo intermitente el trabajo de las máquinas, convenga no desperdiciarlo en los períodos de suspension de las faenas á que se las destina.

III

CAMINOS DE HIERRO Y TRANVÍAS ELÉCTRICOS

Una de las más interesantes aplicaciones de la trasmision de la fuerza por la electricidad, y quizás tambien una de las más importantes, es la que consiste en hacer andar por medio de dicho flúido uno ó muchos wagones por las barras ó rails de un ferro-carril ó por los de una tranvía. Los señores Siemens de Berlin hicieron los primeros ensayos de este género.

El primer sistema de ferro-carril eléctrico funcionó con éxito satisfactorio durante la exposicion celebrada en 1879 en la capital de Prusia. El tren se componia de una pequeña locomotora de cuatro ruedas que arrastraba tres coches de seis asientos y de cuatro ruedas tambien. El motor era una máquina de corrientes continuas del sistema Siemens, colocada á un nivel superior al de las ruedas. Las corrientes iban á parar á la bobina por medio de un par de penachos, análogos á los colectores Gramme, que se apoyaban de un modo continuo en un rail central, barra de hierro puesta de canto en medio de la vía y aislada con viguetas de madera. Este rail estaba en comunicacion constante con la máquina generadora fija, del mismo tipo que la primera, y cuyo otro polo comunicaba con los dos rails comunes. La corriente, despues de animar y poner en movimiento la bobina del receptor, pasaba por las ruedas y los rails. Por otra parte, todas las ruedas de los wagones así como las de la locomotora comunicaban entre sí por medio de alambres de cobre.

El conductor de la máquina iba sentado en ella y tenia á mano izquierda un conmutador con el cual establecia las comunicaciones eléctricas, es decir, ponia el tren en marcha ó las interrumpia para detenerlo. En este último caso, con la mano derecha manejaba un freno que sujetaba las ruedas delanteras de la locomotora y contribuia á parar el tren.

En esta primera prueba, el promedio de la velocidad fué de 2 á 3^{m},50 por segundo, y el trabajo desarrollado (sin comprender el de remolque de la máquina) de dos á tres caballos y medio de vapor.

Dos años despues, Siemens y Halske inauguraban un pequeño ferro-carril eléctrico, bajo un plan nuevo, entre el Instituto central de cadetes y Lichterfelde, estacion del camino de hierro de Anhalt á Berlin, en una longitud total de 2,450 metros. En este nuevo sistema se suprime el rail central, siendo los mismos rails de la vía los que sirven de condutores; ha habido pues necesidad de aislarlos de todo contacto con el suelo; excepto con las traviesas de madera sobre las cuales descansan. La máquina generadora fija, instalada en un departamento de la estacion de Lichterfelde, está puesta en accion por una máquina de vapor rotatoria. De los polos del generador eléctrico parten unos cables, que pasando por debajo de tierra, llevan la corriente á los rails, de los cuales pasa á la máquina locomotora, la cual no es otra cosa sino un carruaje ordinario de tranvía, de suerte que todo se reduce á un remolcador y á carruajes para los viajeros, como en la Exposicion de Berlin. Estos últimos, en número de 26, ocupan los asientos del interior del coche. Entre los dos pares de ruedas del vehículo está instalada la máquina Siemens que las pone en movimiento; una polea centrada en el eje de la bobina lleva dos correas cada una de las cuales se introduce en una garganta abierta en la circunferencia de cada rueda de un mismo lado del carruaje, de suerte que los dos ejes están puestos á la vez en movimiento. En cuanto á la corriente, hé aquí cómo pasa de la

máquina generadora á la locomóvil del tranvía. Hemos dicho que los rails sirven de conductores, y por consiguiente el contacto directo con las ruedas metálicas la hace pasar á la circunferencia de dichas ruedas, y de allí por unas tiras de metal á una caja cilíndrica con la cual están en conctacto perenne los penachos colectores puestos en comunicacion con la máquina. Por medio de un conmutador, que el conductor maneja á cada extremo del vehículo, lo puede poner en marcha ó detenerlo.

El peso total de la locomóvil del ferro-carril eléctrico, cargada con el número máximum de viajeros, es de 4,800 kilógramos; debe marchar con la velocidad media reglamentaria de 20 kilómetros por hora, velocidad que en línea horizontal puede llegar á 35 ó 40 kilómetros, en cuyo caso la máquina motora, que pesa 500 kilógramos, desarrolla un trabajo de 5,5 caballos de vapor.

Como se ve, en este nuevo sistema de ferro-carril eléctrico, los señores Siemens y Halske

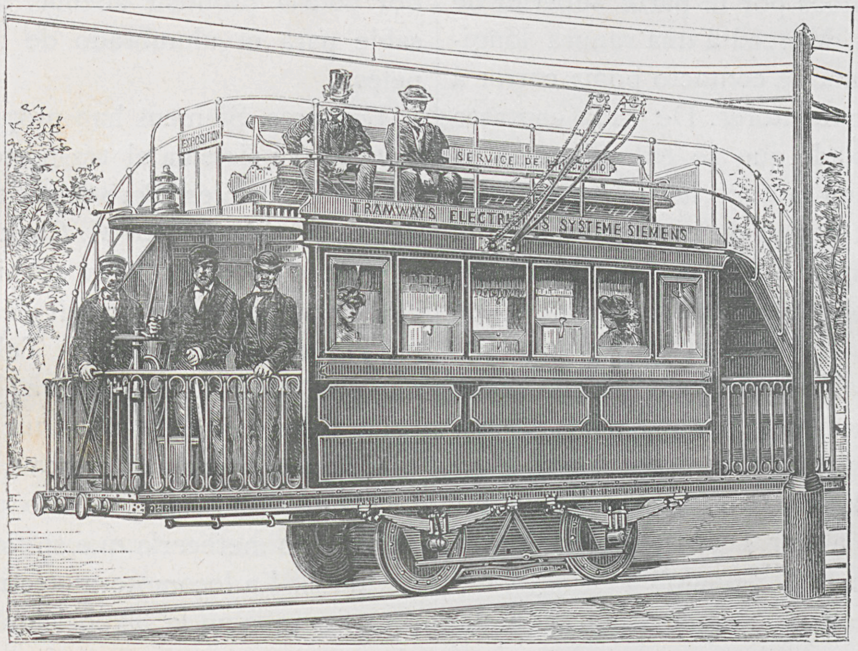


Fig. 406.—Tranvía eléctrica de la Exposicion de Electricidad, sistema Siemens

han podido utilizar los rails de la vía como conductores de ida y vuelta. Estos rails, del sistema Vignole, están separados del suelo, del cual los aislan unas traviesas de madera. Pero este modo de comunicacion de la máquina generadora fija con la motora del vehículo no es ya posible cuando se trata de tranvías que han de cruzar por las calles, por las que circulan continuamente transeuntes, jinetes y carruajes. Por esto dichos constructores solicitaron en un principio autorizacion para establecer una línea aérea, que era la solucion más racional de las dificultades con que tropezaba semejante vía férrea; de este modo el aislamiento de los rails conductores hubiera sido todo lo completo posible, y una vía establecida á la altura de los primeros pisos no hubiera estorbado la circulacion ordinaria; pero habiéndoseles denegado la autorizacion pedida, los inventores tuvieron que hacer la prueba en una línea establecida al nivel del suelo, aislada entónces de la comunicacion como las demás vías férreas. Sin embargo, habiendo obtenido la concesion de una línea de tranvías entre Charlottenburgo y Spandau, pero tambien al nivel del suelo, hubieron de discurrir una disposicion especial para establecer la comunicacion eléctrica de las máquinas. Esta disposicion consiste en un contacto móvil, en un carreton que rueda por un conductor aéreo sostenido en postes, como los hilos telegráficos, y que sirviendo á la ida para la trasmision de la corriente, los rails debian servir de hilo de vuelta.

Tal es tambien poco más ó menos, la disposicion adoptada para la tranvía eléctrica que los visitantes de la Exposicion de Electricidad vieron funcionar en 1881 entre la plaza de la Concordia y la entrada oriental del Palacio de la Industria, sólo que, no pudiendo servir los rails de conductores de regreso, á causa de la

imposibilidad de aislarlos del suelo, hubo necesidad de establecer para la comunicacion eléctrica dos conductores aéreos y dos contactos móviles. Estos conductores eran tubos de laton, fijos por una y otra parte en listones de madera sostenidos á lo largo de los postes por cables análogos á los de los puentes colgantes. Por el interior de los tubos corria una especie de lanzadera de laton, de la que bajaban dos varillas verticales por las cuales se deslizaba un travesaño con una ruedecita maciza la cual se apoyaba en los tubos por la parte superior de su circunferencia. Merced á una ranura longitudinal este sistema de contacto podia correr á lo largo de los conductores. De cada contacto partia un hilo aislado que se enlazaba con el polo de la máquina motora, la cual estaba colocada, como en el wagon de Lichterfelde, entre las ruedas del vehículo, á las cuales comunicaba su movimiento de rotacion por medio de una cadena de Galle.

La longitud del trayecto era de unos 500 metros que el carruaje locomóvil recorria en 2 minutos por término medio, ó sea con una velocidad de 15 kilómetros por hora, aunque hubiera podido andar cuatro veces más de prisa. Completamente cargado con sus 50 viajeros, pesaba unos 9,000 kilógramos. La vía tenia dos curvas, una de 55 y otra de 30 metros de radio, y en cierta parte de su trayecto una rampa de 2 centímetros por metro. El trabajo desarrollado por la máquina era, por término medio, de 3,5 caballos de vapor; en las curvas llegaba á 7,5 y en la rampa á 8,5. De aquí resultaba la necesidad de un regulador de velocidad, con cuyo objeto el conductor tenia á su disposicion la manivela de un reostato, con la cual introducia en el circuito las resistencias convenientes. Del propio medio se valia un poco ántes del momento en que queria detener el carruaje, rompiendo al efecto el circuito.

Segun los experimentos de que acabamos de dar cuenta, parece que puede entrar en el terreno de la práctica la traccion de las tranvías por la electricidad. Por supuesto, que al decir esto no nos referimos al lado económico del asunto. Es indudable que este sistema de propulsion será muy ventajoso en las grandes ciudades, y sobre todo en aquellas en que sea fácil establecer vías aéreas. Suprimiéndose con la sustitucion de las locomotoras de vapor por una máquina fija el fuego y el combustible, y por consiguiente el vapor, el humo y las chispas de carbon, se suprimirán á la vez todos los inconvenientes que han impedido hasta aquí la circulacion de las locomotoras ordinarias por el interior de las ciudades, ventajas que serian mucho mayores de poderse adoptar la traccion eléctrica en los caminos de hierro subterráneos, en cuyo caso particular, la fuerza del generador podria producir además la luz indispensable para el alumbrado de los grandes túneles.

Los Sres. Siemens han propuesto la aplicacion de su sistema al trasporte de pliegos y paquetes postales. Pero desde el mes de agosto de 1879 habia tenido M. Cárlos Bontemps la misma idea, y entónces se hicieron pruebas con un pequeño ferro-carril eléctrico postal en el patio de la Direccion de Telégrafos, bajo la de M. Deprez; la locomotora eléctrica que este físico habia mandado construir con tal objeto debia circular por las cloacas parisienses. Se ha abandonado este proyecto de *estacion eléctrica*, pero mereceria que se volviesen á ocupar de él. La locomotora eléctrica de M. Deprez figuraba en la Exposicion lo propio que el pequeño tren postal de los Sres. Siemens, el cual se componia de una máquina motora Siemens montada en un carreton de cuatro ruedas. La corriente le llegaba por los rails y por estas, y su movimiento arrastraba el de las cajas metálicas montadas tambien sobre ruedas, y que contenian los despachos. Los cálculos de M. Deprez prueban que bastaria una fuerza de 12 caballos para el trasporte de despachos en toda la red subterránea de Paris; este mismo trabajo, hecho en la actualidad por medio de tubos neumáticos necesita una de 120 caballos.

Podríamos multiplicar los ejemplos de esta nueva aplicacion de los poderosos generadores eléctricos trasformados en motores, aplicacion que ha sido posible merced á la invencion de las máquinas de Gramme de corrientes continuas. Para esto bastaríanos recordar cuanto han podido admirar los visitantes del Palacio de la Industria durante la magnífica Exposicion de Electricidad. Allí trabajaba sin

descanso una multitud de máquinas y artefactos de toda clase, tornos, máquinas de cepillar madera, de tejer, de bordar, de coser, etc., movidas por una fuerza invisible. Mas acerca de este punto deberíamos ocuparnos de otra cuestion que se relaciona con la de la trasmision de la fuerza y de la cual trataremos cuando hayamos descrito los numerosos aparatos de alumbrado eléctrico; nos referimos á la distribucion de la electricidad. Añadamos, sin embargo, desde luégo que algunos experimentos recientes, hechos en Baviera en la línea de Munich á Miesbach han confirmado los cálculos de M. Marcelo Deprez. Se ha efectuado con una pérdida de ménos de 40 por 100 la trasmision de la fuerza entre dos máquinas Gramme idénticas, enlazadas con un hilo conductor de hierro galvanizado de 4,5 milímetros de diámetro. La distancia entre ambas estaciones es de 57 kilómetros.

CAPITULO XII

LA LUZ ELÉCTRICA

I

REGULADORES DE LAS LÁMPARAS FOTO-ELÉCTRICAS

La luz eléctrica, esa luz que brota entre los dos conos de carbon en que terminan los reóforos de una pila poderosa ó de una gran máquina de induccion, es, despues de la del sol, la más deslumbradora de cuantas ha acertado á producir artificialmente el ingenio humano. Por esto se la ha utilizado en un gran número de aplicaciones científicas, industriales y militares, y hoy empieza ya á servir para el alumbrado público de las plazas y calles de las grandes ciudades, para los trabajos que no conviene interrumpir de noche, para las construcciones submarinas, las obras de las galerías de minas, los reconocimientos militares nocturnos, la marina, los faros, y en fin hasta para los efectos del decorado en las funciones teatrales. En la mayoría de estos diferentes casos, el mejor éxito ha coronado las tentativas hechas, aunque no sin necesitar estudios especiales y la solucion de dificultades particulares.

La produccion del arco voltaico no es el único medio encontrado para obtener una luz bastante intensa á fin de emplearla en el alumbrado. Cuando se interpone en el circuito de una corriente alguna sustancia de conductibilidad relativa bastante débil ó que ofrezca gran resistencia, como una barrita de carbon, un alambre de metal poco fusible, como platino ó iridio, resulta una elevacion de temperatura que pone á la sustancia en cuestion en estado incandescente y puede mantenerla en él bastante tiempo para que se pueda aprovechar en el alumbrado la luz que procede de ella. Hánse originado de aquí dos clases de aparatos para el alumbrado eléctrico; los que utilizan el arco voltaico, y los que se valen de la luz producida por incandescencia. Empezaremos por la descripcion de los aparatos de la primera clase, que son tambien los más antiguos.

Una de las principales dificultades del empleo del *arco voltaico* está en su discontinuidad. Sábese en efecto que cuando brota el haz luminoso entre los dos conos de carbon, la corriente trasporta de uno á otro partículas de materia sumamente tenues; uno de los carbones parece crecer á costa del otro; pero en definitiva, la distancia entre ambas puntas va aumentando á causa de la combustion, y á medida que se embotan, la corriente se debilita, la intensidad de la luz decrece y al cabo de cierto tiempo, acaba por extinguirse. En caso de que la corriente empleada sea la de una pila voltaica ó de una máquina generatriz de corrientes continuas, es decir, que conserve constantemente el mismo sentido, el desgaste de los conos de carbon está en la proporcion de 1 á 2, siendo el carbon positivo el que se

desgasta más pronto. Si la máquina empleada es una de induccion, en que la corriente cambia de sentido á cada revolucion, cada carbon resulta ser alternativamente positivo y negativo, siendo igual en ambos el desgaste. De todos modos, se comprende la necesidad de mantener las puntas de los dos conos á constante distancia, si se ha de conseguir un foco de luz continua. Esto se ha logrado mediante los aparatos llamados *reguladores*.

El principio de los reguladores de la luz eléctrica es la corriente misma; la fuerza eléctrica es precisamente la encargada de acercar los carbones, de mantenerlos á distancia conveniente. Para ello, se hace pasar la corriente por las espiras de la bobina de un electro-iman y una armadura de hierro dulce se pone en contacto con sus polos cuando la corriente es de suficiente intensidad, es decir, miéntras las puntas de los carbones están bastante próximas para producir un arco luminoso intenso. En este caso, la armadura está en relacion con un mecanismo motor, con un aparato de relojería engranado á ella; aparato que no funciona, ó mejor dicho que no puede acercar las varillas que llevan los dos conos de carbon, los cuales se desgastan poco á poco, su separacion aumenta, crece la resistencia al paso de la corriente y la intensidad de esta disminuye. Un muelle antagonista, que mantiene la armadura, acaba por prevalecer sobre la atraccion del electro-iman; el contacto cesa y el movimiento de la armadura hace que el aparato de relojería se ponga en marcha, funcionando de modo que acerca entre sí los dos conos en la medida conveniente. Entónces la corriente recobra poco á poco su intensidad, síguese un nuevo contacto de la armadura, paralízase el movimiento, y de esta suerte continúa moviéndose y deteniéndose este indefinidamente.

Comprendido ya el principio en que están basados los reguladores,—cuya primera idea y realizacion debemos á Foucault,—se comprenderá tambien sin dificultad el mecanismo y el modo de funcionar más usados de estos aparatos.

Describamos desde luégo el *regulador Duboscq*, discurrido para utilizar las corrientes continuas suministradas por las pilas.

La figura 407 representa este regulador.

c y *c'* son las dos barritas de carbon entre cuyas puntas brota el arco luminoso. La corriente que da lugar á la produccion de la luz parte del polo positivo de la pila, entra por el tornillo R, recorre el hilo *q*, la bobina del electro-iman B B, la varilla T, pasa de *c* á *c'*, y de allí, por las varillas T' y S, sale por el tornillo R' que está en comunicacion con el polo negativo de la pila. En K hay un contacto móvil, puesto enfrente del núcleo de hierro dulce del electro-iman, cuyos polos lo atraen cuando la corriente conserva suficiente intensidad, ó lo que es lo mismo, cuando los carbones están á la distancia conveniente. Dicho contacto descansa entónces sobre el brazo horizontal de la palanca acodada L, movible alrededor de F'; el brazo vertical de esta palanca engrana, por medio de otra más corta *l m*, con una rueda dentada que lleva el regulador *g* del mecanismo de relojería, y por consiguiente, este mecanismo no marcha miéntras subsiste el contacto.

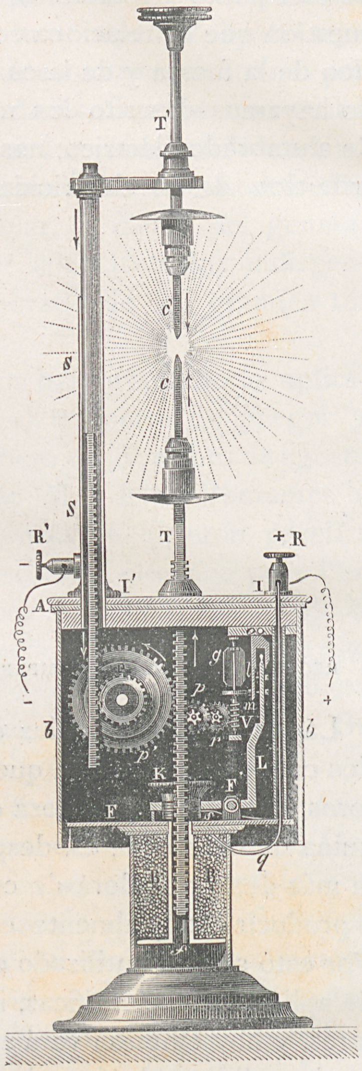


Fig. 407.—Regulador Duboscq

Pero el desgaste de los carbones y la gran separacion de estos, que es su consecuencia, debilita la corriente; el muelle antagonista *s* vence la presion del contacto K, lo aparta de los polos del electro-iman, las palancas L y *l m* sueltan el regulador *g*, y las ruedas *p p'* se ponen en movimiento: las dos barras dentadas S y T marchan en sentido contrario, los carbones *c* y *c'* se acercan, y recobrando la cor-

riente y el arco luminoso su anterior intensidad, se establece de nuevo el contacto y se detiene la marcha de las ruedas dentadas. Y así indefinidamente.

La rueda dentada que hace salir la barra T es de doble radio que la que hace bajar la S, por lo cual el carbon positivo anda doble camino que el negativo: de este modo el arco luminoso permanece á una altura constante.

Veamos ahora los *reguladores Foucault* y *Serrin*, ambos usados en las aplicaciones industriales de la luz eléctrica. La figura 408 representa el primero de estos aparatos.

Las barras dentadas H y D que ll

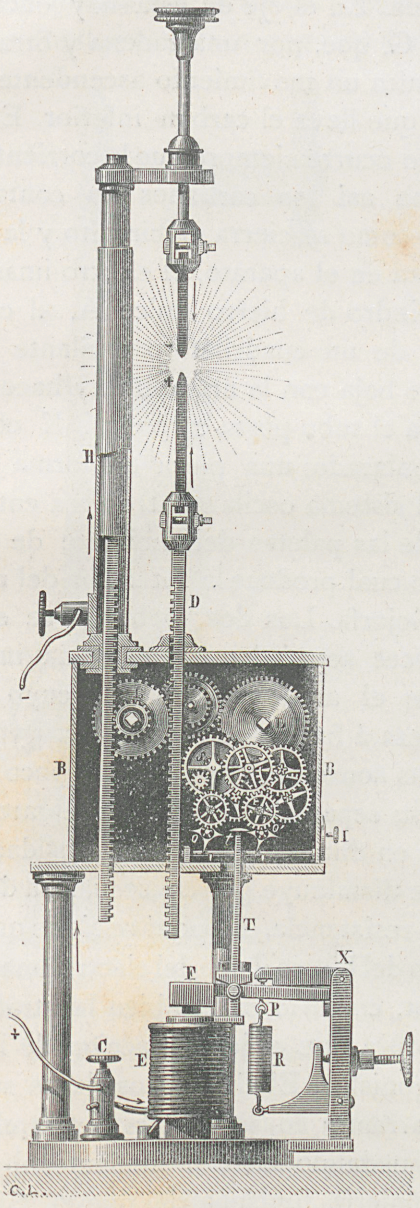


Fig. 408.—Regulador Foucault

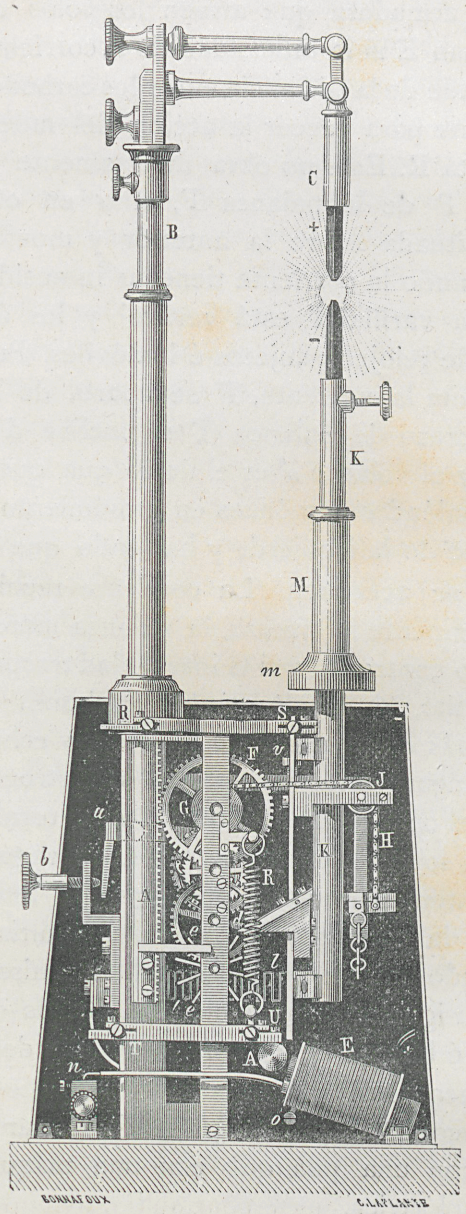


Fig. 409.—Regulador Serrin

carbones son poco más ó ménos como las del regulador Duboscq, sólo que las ruedas dentadas que las ponen en movimiento pueden girar en dos sentidos opuestos, porque están en relacion con un mecanismo doble de relojería, uno de los cuales se halla sujeto miéntras el otro anda. De este modo los conos de carbon pueden acercarse ó alejarse uno de otro. Este retroceso automático de los carbones evita que se los tenga que arreglar con la mano, y precave tambien su contacto accidental, del cual resultaria la extincion del arco luminoso.

Los dos aparatos de relojería están provistos de dos volantes ó reguladores de aletas *o*, *o′*, en cada uno de los cuales actúa alternativamente la cabeza *t* de una palanca T, movida por la armadura del electro-iman E. Cuando el volante *o* está sujeto el aparato de relojería

correspondiente se detiene, pero entónces o' está libre y su mecanismo motor en marcha. El movimiento contrario de la armadura y de la palanca T produce un efecto distinto. Digamos ahora en qué circunstancias y en virtud de qué mecanismo se efectúan estos movimientos contrarios.

F es la armadura que atraen los polos del electro-iman E si la intensidad de la corriente, que depende de la distancia entre los carbones, es suficiente para vencer la accion del muelle antagonista R. Este no obra directamente en el brazo P de la palanca F, sino en otra palanca situada sobre la anterior y movible en X. Cuando la corriente tiene su intensidad normal, la varilla T está vertical, y los dos aparatos de relojería sujetos é inmóviles. Pero si se debilita la corriente, F se aparta de los polos, el brazo de palanca T se inclina á la derecha, y el volante o' es el único que queda sujeto, poniéndose entónces en movimiento el mecanismo de la izquierda y haciendo que los carbones se acerquen. La corriente recobra progresivamente su fuerza, la palanca marcha en sentido contrario, y si la intensidad traspasa cierto límite, es decir, si los carbones se acercan más de lo necesario, entónces echa á andar el mecanismo que produce el retroceso miéntras el otro queda detenido. Con un tornillo que actúa sobre el muelle R se puede regular convenientemente su tension, segun la intensidad de la corriente empleada. Por último, modificando una de las piezas del mecanismo, se pueden igualar las velocidades de los dos carbones ó hacer que el positivo avance doble que el negativo.

El regulador puede pues funcionar lo mismo con una pila que con una máquina magneto-eléctrica.

La palanca X que actúa sobre el brazo P de la armadura tiene su cara inferior ligeramente curva, de suerte que el punto en que descansa cambia de posicion, y por consiguiente la accion del muelle es tambien variable y esto segun la intensidad de la corriente. Como la curvatura en cuestion es muy poca, resulta que los movimientos oscilatorios de la armadura son á su vez muy ligeros, y que la aproximacion ó desviacion de los carbones se verifica solamente por gradacion casi insensible, proporcionando así una constancia notable en la intensidad de la luz.

En el *regulador Serrin* (fig. 409), el porta-carbon superior A B lleva una cremallera que engrana con la rueda dentada F; barra que por su propio peso tiende á bajar, arrastrando consigo el carbon *c*, y á hacer girar la rueda dentada. En el eje de esta hay encajada una polea G, que, por una cadena y otra polea J, comunica un movimiento ascendente á la barra K K que lleva el carbon inferior. Este movimiento ocurre siempre que la corriente no pasa, y pone así los carbones en contacto. Tan luégo como se cierra el circuito y la corriente penetra en el aparato, el electro-iman E atrae un cilindro de hierro dulce A, el cual forma parte de un cuadrilátero oscilante T U S R que se baja con la armadura, y hace que descienda el tubo porta-carbon K K con el cual está enlazado: una pieza de forma triangular *d*, del sistema oscilante, tropieza entónces con una de las paletas del molinete de engranaje *e e*, lo cual produce la detencion del mecanismo de relojería. Los dos carbones se encuentran entónces separados, y se forma instantáneamente el arco voltaico, en cuyo momento empieza á funcionar la lámpara.

Mas consumiéndose poco á poco los carbones, su separacion aumenta; el arco voltaico crece en dimensiones, y la intensidad de la corriente disminuye por consecuencia del aumento de la resistencia. De aquí se sigue que la imantacion del hierro dulce del electro-iman es mucho menor, como lo es tambien la atraccion de la armadura que cede á la accion de los muelles antagonistas. El sistema oscilante sube entónces, arrastra consigo hácia arriba el trinquete *d*, y quedando suelto el molinete, el mecanismo de relojería funciona de nuevo. Síguese otra aproximacion de los carbones, el aumento de intensidad de la corriente, la atraccion de la armadura, y así indefinidamente hasta que el desgaste de los carbones sea tan considerable que haya precision de renovarlos. De este modo se consigue que el funcionamiento de la lámpara y la duracion de la luz producida sean continuos, y que sólo dependan de la mejor eleccion de la longitud de los carbones, calculada para el tiempo que se quiera asignar al alumbrado.

La corriente llega por un tornillo al tubo

K K; y por una placa *l* de forma ondulada, penetra en la bobina del electro-iman; y de aquí va al boton *n* que comunica con el polo negativo de la pila ó con la máquina magneto-eléctrica empleada.

Añadamos que los diámetros de la rueda F y de la polea G están calculados de modo que su relacion es la misma que la de los caminos recorridos por los dos carbones, caminos desigua-

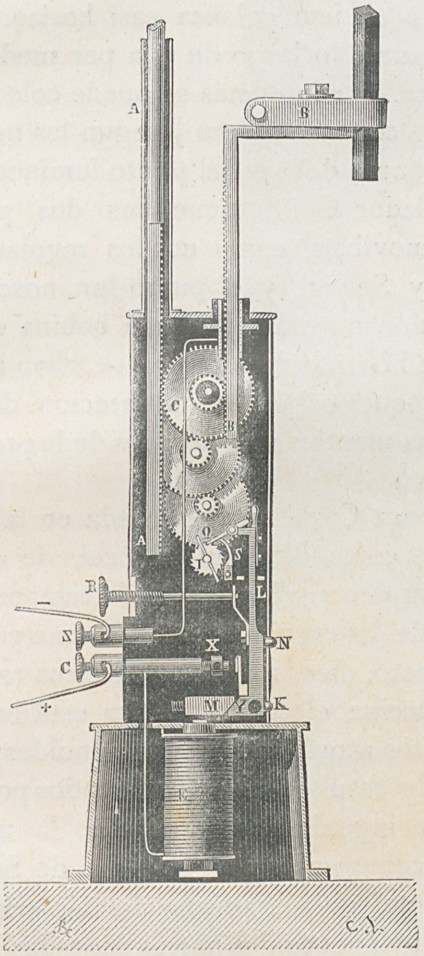


Fig. 410.—Regulador Siemens

les, por cuanto tambien lo es el desgaste de aquellos, y que importa mantener el punto luminoso á una altura constante.

La casa Siemens y Halske de Berlin construye un regulador ideado por M. Hafner Alteneck para funcionar con su máquina magneto-eléctrica. Este sistema, muy usado en Prusia, está representado en la fig. 410. Los dos porta-carbones, ambos móviles, están unidos por las cremalleras de sus barras y por una rueda dentada que engrana en una y otra. La barra A hace descender por su peso el carbon positivo al mismo tiempo que sube el negativo. En virtud de este movimiento de aproximacion de los polos, la intensidad de la corriente aumenta; el electro-iman E atrae una armadura M, que es prolongacion de una palanca L acodada alrededor de Y. El extremo de la varilla L pone en movimiento un trinquete de detencion Q, el cual actúa por medio de la rueda I, sobre el mecanismo de relojería, y ocasiona la separacion de las puntas de carbon. En el mismo instante se establece un contacto en X; la corriente sufre una derivacion que quita fuerza al electro-iman y ocasiona la vuelta de la armadura á su primitiva posicion. La palanca recobra tambien la suya; cesa el contacto en X, hay otra nueva atraccion, y así sucesivamente. En resúmen, por la accion del peso del porta-carbon positivo sobre las ruedas, los carbones se acercan, se ponen en contacto, y se enrojecen; el electro-iman entra en actividad y la accion de la armadura y de la palanca ocasiona el movimiento en sentido inverso; el arco nace, crece con el desgaste de los carbones, y tan luégo como la separacion entre estos es excesiva y la debilidad de la corriente hace que cese la accion del electro-iman, ocurre el movimiento inverso, es decir, la aproximacion de los carbones. Por lo demás, mediante unos tornillos y unos muelles adecuados se puede equilibrar y regularizar este doble movimiento, habiendo además otros que sirven para que se muevan simultáneamente los dos carbones, de modo que cambie de lugar el punto luminoso sin que se apague la luz.

Como aparatos reguladores fundados en la accion de los electro-imanes son tambien dignos de mencion los de H. Fontaine, Hiram Maxim, Lontin, Gramme, Burgin y Mersanne. Por esta enumeracion, sobrado incompleta, se ve cuán numerosos son los sistemas que tienen por objeto producir la luz eléctrica ó mejor dicho el arco voltaico. Sin embargo, sólo nos hemos ocupado de una de las clases de reguladores que debíamos proponernos describir. Y en efecto, los reguladores de que acabamos de tratar están basados en las variaciones de intensidad de la corriente que da el arco voltaico, variaciones que actúan sobre un electro-iman cuya armadura pone en movimiento las ruedas que regulan la distancia de las puntas de los carbones. En otros reguladores, las variaciones de intensidad obran sobre un solenoide, siendo este el principio del aparato que ideó M. Ar-

chereau en 1848. El carbon superior estaba fijo, y la accion de un contrapeso debidamente calculado tendia á remontar el carbon inferior á medida que se desgastaban sus puntas; mas por otra parte, el carbon inferior ó negativo descansaba en un cilindro de hierro y cobre por mitad colocado en un solenoide cruzado por la corriente. Este solenoide mantenia separados los carbones, atrayendo la varilla de hierro. Este

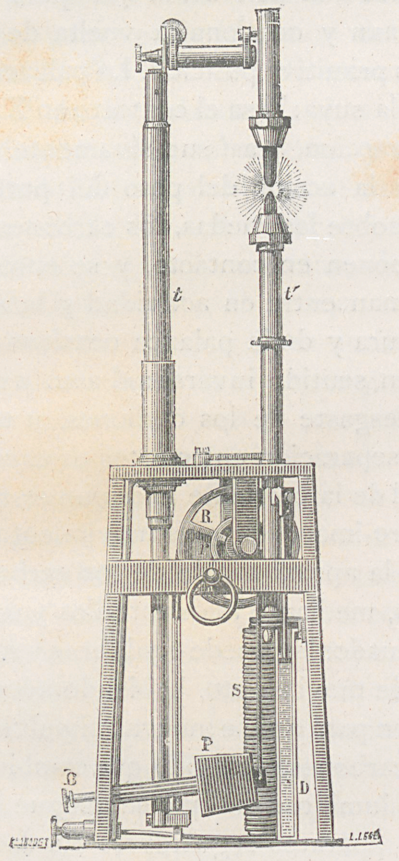


Fig. 411.—Regulador Jaspar

sistema adolece de un inconveniente, cual es el de que el punto luminoso no conserva una posicion fija en el espacio, por lo cual se le ha desechado.

En el regulador Jaspar (fig. 411), lo propio que en el sistema Archereau, la accion de un solenoide es la que produce y mantiene la separacion entre los carbones. Pero el carbon positivo no está fijo; tiende á descender por el peso de la varilla que lo soporta; ésta tira por su extremo inferior de una cuerda metida en la garganta de una polea que tiende á girar en sentido contrario al de las agujas de un reloj. Otra polea, de diámetro la mitad menor, gira solidariamente con la primera, y por medio de una cuerda adaptada al porta-carbon negativo, propende á hacerlo subir en una cantidad que viene á ser la mitad de la que ha bajado el carbon positivo, de suerte que la posicion del punto luminoso no varía. Por lo demás, la distancia entre los dos carbones se gradúa, segun hemos dicho, por la accion del solenoide sobre la barra de hierro dulce del carbon negativo. El equilibrio entre los dos movimientos opuestos que tienden, el uno á acercar y el otro á separar los carbones, se obtiene con un contrapeso puesto en una palanca casi horizontal y que se mueve á lo largo de ella por medio de otra palanca. Por lo demás se puede colocar el mecanismo, como se quiera y segun las necesidades, encima ó debajo del punto luminoso.

El regulador Gaiffe tiene sus dos porta-carbones movibles, como en los reguladores Foucault y Serrin, y el punto luminoso fijo; pero la accion magnética de una bobina sobre la barra de hierro dulce del porta-carbon negativo es la que origina la separacion de las puntas y las mantiene así despues de la produccion del arco.

La lámpara Carré, representada en la figura 413, es, como dice Du Moncel, de quien tomamos su descripcion, un perfeccionamiento ingenioso de los reguladores Archereau y Gaiffe. «En efecto, dice, así como en estos reguladores, la accion electromagnética está basada en los efectos atractivos de los solenoides; pero estos efectos resultan muy amplificados por una disposicion ingeniosa, produciendo la accion mecánica, como en los reguladores de Serrin, Foucault, etc., un mecanismo de relojería que pone en movimiento dos barras dentadas D, E, adaptadas á los porta-carbones, movidos por un trinquete puesto en accion por el sistema electromagnético. Este sistema se compone de dos bobinas BB' de eje ligeramente curvo, y en las cuales penetran los extremos de un cilindro de hierro dulce AA' encorvado en forma de S, y centrado en C. Merced á un doble sistema de muelles antagonistas *rr'*, que obedecen á un sistema extensor dependiente de un tornillo de gradacion V, se puede regular convenientemente la fuerza opuesta á la atraccion de las bobinas, y una varilla *t*, adaptada á la barra magnética, ejerce una reaccion sobre el trinquete de detencion del mecanismo de relojería, cuyas ruedas hacen avanzar las dos barras dentadas en la proporcion conveniente para mantener fijo

el punto luminoso. La corriente que proporciona el arco voltaico atraviesa las dos bobinas, y segun su mayor ó menor intensidad, atrae más ó ménos la barra de hierro al interior de las bobinas, ocasionando en el trinquete de detencion un movimiento bastante marcado para dar suelta al aparato de relojería, de lo cual resulta la aproximacion de los carbones. «La principal ventaja del regulador Carré está en el movimiento de desviacion de los carbones que se produce sin oscilaciones, lo cual consiste en que la marcha de la pieza móvil del sistema electro-

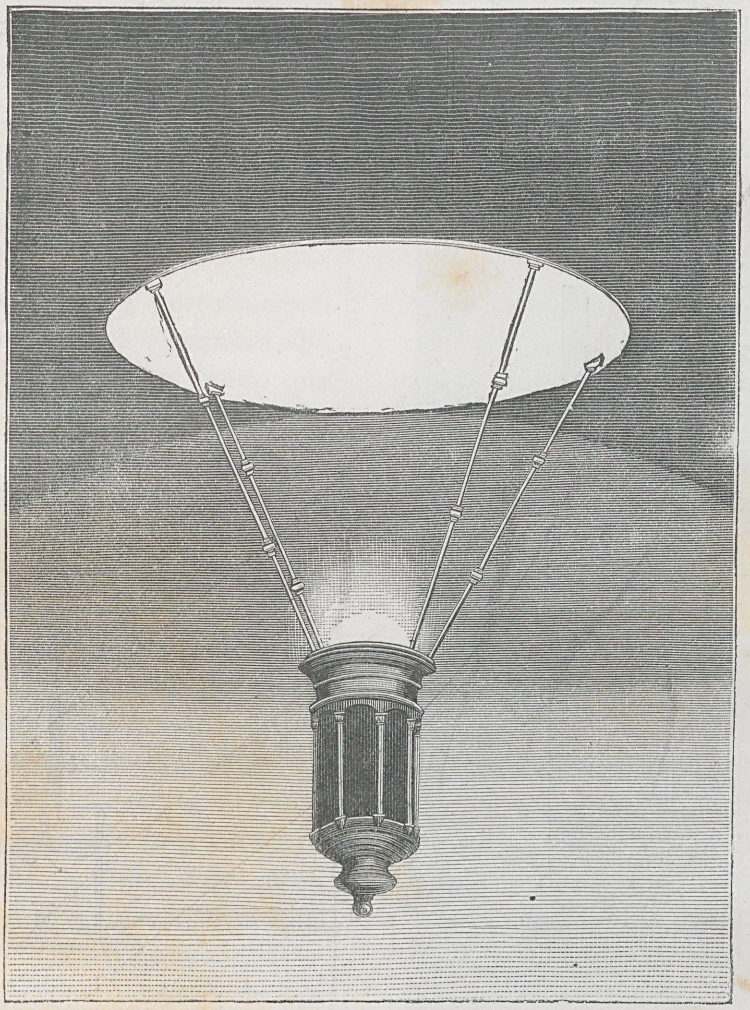


Fig. 412.—Lámpara Jaspar

magnético es de bastante amplitud, y el efecto atractivo mucho ménos brusco que con las armaduras articuladas del electro-iman de otros sistemas.

La lámpara Brush es un regulador basado, como los anteriores, en la atraccion de un solenoide A. En el interior de una bobina sostenida por un brazo horizontal *b*, se mueve un cilindro de hierro dulce *d* hueco y atravesado por la barrita de cobre *ff* del porta-carbon superior: el inferior está horadado. Cuando el regulador no funciona, las dos puntas de carbon *kk* están en contacto; pero si se ponen las dos barras en comunicacion con la corriente, esta atraviesa el sistema con su máximum de intensidad. El cilindro magnético *d* se levanta, haciendo que el gancho *e* levante á su vez una anilla *h* que sujeta la barra de cobre y la arrastra tras sí, de suerte que el carbon superior se separa del inferior, brotando entónces el arco voltaico.

El desgaste de los carbones aumenta poco á poco su distancia, y cuando esta traspasa cierto límite, la corriente se debilita hasta el punto de que la atraccion de la bobina cesa; el cilindro magnético vuelve á bajar, y con él la barra superior, lo propio que los anillos. Entónces se acercan los carbones hasta que, recobrando la corriente su intensidad, sube de nuevo todo el sistema.

II

REGULADORES DE DIVISION Ó POLIFOTOS

La mayor parte de los aparatos descritos hasta ahora son para regularizar un solo foco luminoso. Poniendo muchas lámparas en tension en el mismo circuito, en breve dejarian de funcionar con regularidad; en otros términos, aquellas cuyos carbones se gasten con más rapidez, y cuyos arcos se alarguen, absorberán una porcion de corriente á expensas de las otras. Sin embargo, la division de la luz producida por el mismo foco eléctrico tiene sobrada importancia práctica para que se haya tratado de obtener la independencia de las lámparas colocadas en el mismo circuito, regulándolas cada una de por sí, sin recelo de que en el caso de que alguna de ellas se descompusiera por cualquier causa, perturbara la marcha de las demás. Los aparatos que llenan esta condicion son los reguladores *polifotos* ó de *division*, al paso que los que no admiten sino una sola luz son reguladores *monofotos*.

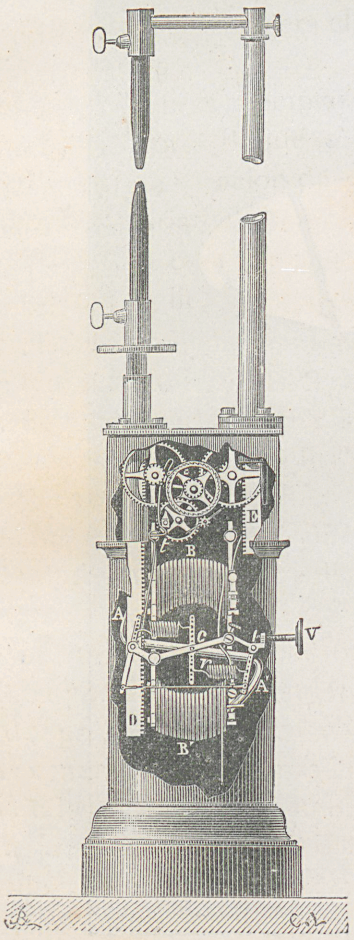


Fig. 413.—Regulador Carré

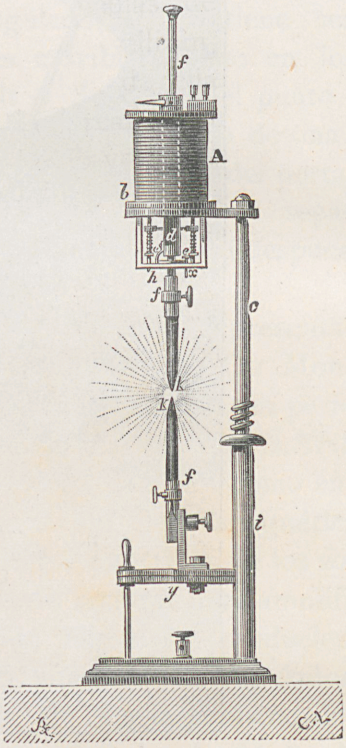


Fig. 414.—Regulador Brush

Se ha logrado resolver la dificultad de dos modos, y por consiguiente los reguladores polifotos se dividen en dos categorías, segun que el principio de su modo de funcionar esté basado en uno ú otro de los métodos que vamos á dar á conocer.

M. Lontin es el inventor del primer regulador polifoto de *derivacion*. Su aparato no es más que un regulador de paralelógramo, análogo al sistema Serrin; sólo que en vez de estar situado en el circuito de la corriente general el electro-iman que origina el movimiento de la armadura, lo está en una derivacion. En esto consiste todo el principio de regulacion, como se comprenderá por lo siguiente.

Sea CD la palanca que lleva la armadura M, y S la bobina del electro-iman. La corriente que produce el arco pasa por CD y llega al carbon positivo A, de allí al negativo B y en seguida va á alimentar otro regulador: como se ve, la corriente que pasa por las espiras de la bobina es una derivacion de la principal. Cuando la resistencia aumenta en el arco á consecuencia

de la mayor separacion de los carbones, la porcion de la corriente principal se debilita, al paso que la intensidad de la corriente derivada crece hasta que este aumento sea suficiente para que la bobina obre sobre la armadura y el mecanis-

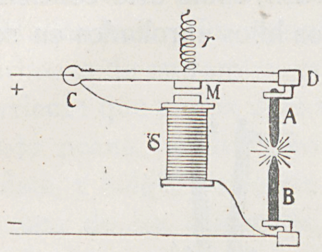


Fig. 415.—Principio de los reguladores polifotos de derivacion

mo correspondiente ocasione la aproximacion de los carbones. La paleta de la armadura del regulador Lontin está puesta de tal modo que siempre tiene sujeta la lámpara soltándola únicamente cuando el arco crece á consecuencia del desgaste de los carbones; lo contrario de lo que sucede en el regulador Serrin.

En resúmen, en un regulador de derivacion no son ya las variaciones de intensidad de la corriente misma las que influyen en el mecanismo, sino tan sólo las de la corriente derivada. De este modo los aparatos intercalados en el circuito general son independientes entre sí. M. Lontin ha podido poner en un mismo circuito y alimentar con una sola lámpara hasta doce reguladores en tension. Valiéndose como generador de una de sus máquinas de division, que más adelante describiremos, se ha podido elevar hasta treinta y una el número de las

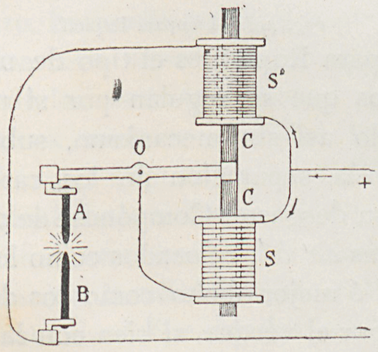


Fig. 416.—Principio de los reguladores polifotos diferenciales

lámparas de este sistema. Los reguladores Lontin son los que sirven para el alumbrado de la estacion Lyon-Mediterráneo en Paris.

Entre los reguladores polifotos basados en el principio de la derivacion, son de mencionar los de Gramme, Mersanne, Gerard, Cance y Fontaine.

La segunda categoría de reguladores polifotos forma lo que se llama lámparas *diferenciales*, cuyo tipo es la lámpara Siemens. El principio de estos aparatos consiste en la diferencia de accion de dos solenoides, uno de los cuales, de alambre grueso, está establecido sobre la corriente principal, y el otro, de alambre fino, puesto en derivacion. El diagrama de la figura 416 bastará para que se comprenda

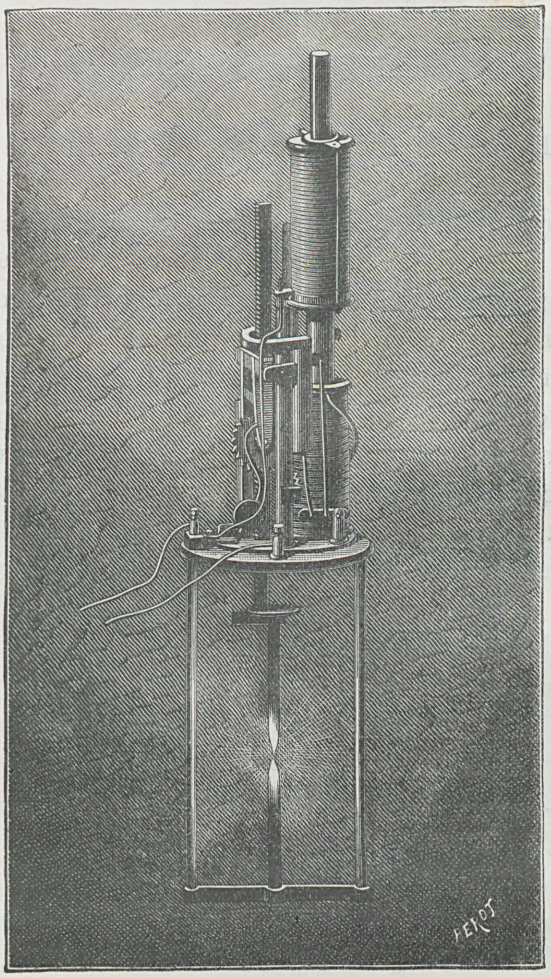


Fig. 417.—Lámpara diferencial Siemens

cómo funcionan los reguladores de este sistema. S y S′ son los solenoides en cuestion. El primero recibe la corriente principal, la que va á alimentar el arco de los dos carbones A y B. El segundo, cuya resistencia es mucho mayor, sólo recibe una corriente derivada. Un cilindro de hierro dulce C C′ penetra por sus extremos en la parte hueca interior de las bobinas, y lleva una palanca que oscila alrededor del punto O segun que la atraccion del solenoide S sea más ó ménos fuerte que la del S′. Esta

palanca está enlazada con el porta-carbon positivo y conserva una posicion horizontal ó de equilibrio, para una resistencia convenientemente graduada del arco voltaico; la separacion de los carbones es entónces normal. Pero al desgastarse estos, el arco crece, su resistencia aumenta, la accion de S sobre la pieza de hierro dulce disminuye, miéntras que la de S′ es mayor, puesto que la corriente principal se ha debilitado y la intensidad de la de derivacion ha aumentado en proporcion. El cilindro de hierro dulce es atraido hácia arriba, de donde resulta una oscilacion de la palanca que hará bajar el carbon superior. Tal es la explicacion teórica del mecanismo de los reguladores diferenciales.

La accion preponderante de la bobina de derivacion sobre el hierro dulce da lugar en la lámpara diferencial de Siemens al escape de un trinquete que retenia el porta-carbon superior; este puede entónces bajar por su propio peso, con lo cual se aproximan los carbones por el lado positivo. El carbon inferior ó negativo está fijo, resultando de aquí un descenso continuo del punto luminoso, inconveniente de escasa importancia, toda vez que el mecanismo está situado sobre el arco, y por otra parte siendo continua por decirlo así su regulacion, el cambio de posicion del foco es gradual. Además, la ventaja de esta gradacion del movimiento de los carbones es notable, porque contribuye á la fijeza de la luz. Una misma máquina puede alimentar hasta veinte focos, cada uno de ellos de una intensidad equivalente á 25 mecheros Carcel.

Entre los reguladores polifotos diferenciales, citemos las lámparas Brush y Weston, basadas en el mismo principio que la de Siemens. En el artículo anterior hemos descrito el regulador Brush, sin llamar la atencion hácia el carácter que lo clasifica entre los aparatos diferenciales. La bobina, que lleva en su interior un núcleo magnético cuyo movimiento produce el del porta-carbon superior, no es sencilla: está formada por dos hélices independientes, enrolladas en sentido inverso; una de ellas, de hilo grueso y corto, recibe la corriente principal; la otra, de hilo fino y largo, está empalmada en derivacion á las dos bornas del aparato. Como el sentido de las corrientes que obran sobre el núcleo de hierro dulce es contrario en los dos hilos, la diferencia de sus intensidades es la que tan pronto lo sube como lo baja, regularizando así la separacion de los carbones y la intensidad del arco luminoso.

La lámpara Weston tiene mucha analogía con la de Brush; como ésta contiene un solenoide con dos hilos enrollados en sentido contrario.

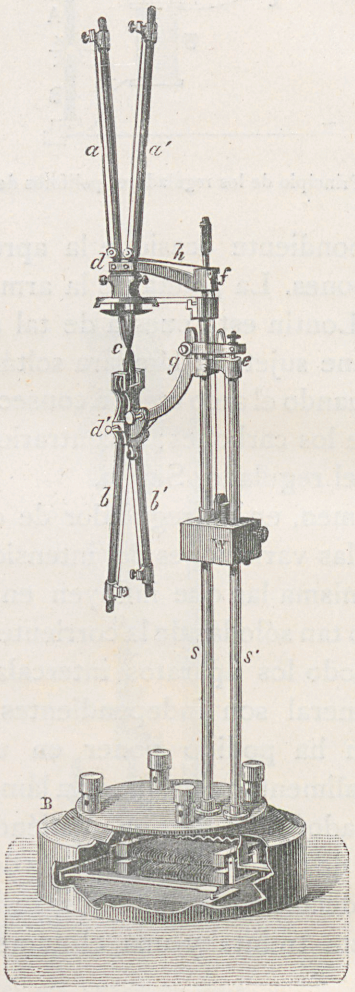


Fig. 418.—Lámpara Rapieff

La lámpara Rapieff es el tipo de una clase de aparatos que se regulan por sí mismos y por decirlo así sin mecanismo, subsistiendo invariable la separacion de los carbones, á pesar de su desgaste. Compónese de dos pares de carbones *aa′ bb′*, colocados como los brazos de una X, ó mejor dicho como los de dos V opuestas por el vértice, si bien con la circunstancia de que los de la V inferior están en un plano perpendicular á los de la V superior. Merced á un contrapeso y á un sistema de cordones y poleas, el par de carbones superior baja y el inferior sube á medida que la combustion del arco tiende á separar las barras disminuyendo su longitud. De este modo se

mantiene sin alteracion el perfecto contacto eléctrico que constituye cada uno de los polos del arco, y la posicion del punto luminoso subsiste constantemente fija.

Las columnas que sirven de guías al contrapeso, sirven tambien de conductores de la corriente. Hallándose primeramente en contacto los carbones de entrambos polos, se hace pasar la corriente que anima á un electro-iman situado en la peana, mueve uno de los dos brazos de éste, y luégo, mediante una varilla metida en una de las columnas, produce la separacion de los carbones y da lugar á la formacion del arco.

La longitud de los carbones de la lámpara Rapieff es ilimitada, porque siendo constante y además bastante escasa la porcion de esta longitud atravesada por la corriente, la resistencia que los carbones introducen en el circuito es tambien escasa y no varía. La duracion de la luz de una lámpara de este sistema con carbones de 50 centímetros de longitud y de 5 ó 6 milímetros de diámetro, es de unas siete á diez horas.

Su intensidad equivale á 100 ó 120 mecheros Carcel. Empleando una máquina Gramme como generador, se pueden colocar hasta 10 lámparas Rapieff en el mismo circuito. Los talleres tipográficos y las oficinas del periódico inglés *The Times* están alumbrados por 24 lámparas: la extincion de una de ellas no ocasiona la de otras del mismo circuito, pues cuando ocurre, el electro-iman de la peana ejerce cierta reaccion sobre un conmutador que cierra el circuito, haciendo pasar la corriente á una derivacion cuya resistencia es igual á la del circuito de la misma lámpara.

Hagamos mencion tambien del regulador Solignac, cuya disposicion es sencilla á la par que original. Los carbones están puestos horizontalmente en una misma línea, y por la accion de dos barriletes sobre cadenillas que se enrollan alrededor de dos poleas fijas en sus extremos, tienden sin cesar á acercarse á medida que sus extremos se desgastan por la combustion. La corriente pasa por dos ruedecitas macizas que sirven de guía á los carbones, y la porcion atravesada por ella ántes de formar el arco queda así limitada á uno ó dos centímetros. Los carbones tienen debajo dos barritas de vidrio cuyo extremo inmediato al arco se apoya contra dos piezas de níkel, con lo cual se limita la aproximacion de los polos. Cuando el arco crece, el calor de la parte incandescente de los carbones es bastante intenso para ablandar las puntas de las barritas, que se encorvan, merced á lo cual los carbones se acercan de

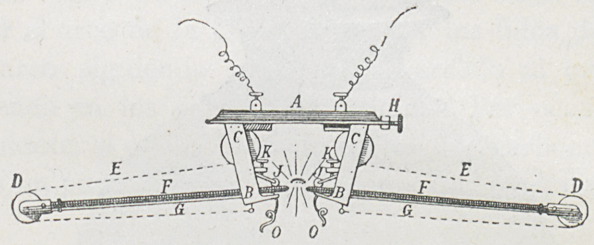


Fig. 419.—Lámpara Solignac

nuevo. Segun el autor, con una máquina generatriz de un caballo, da esta lámpara una luz cuya intensidad equivale á 100 mecheros Carcel, y con tres caballos de fuerza se podrian alimentar seis lámparas en el mismo circuito.

III

BUJÍAS ELÉCTRICAS

La *bujía eléctrica* se distingue de los demás aparatos de arco voltaico por la colocacion paralela de los carbones, que no están situados punta con punta en una misma línea horizontal ó vertical, ni formando entre sí un ángulo más ó ménos agudo. Gracias á este sencillísimo artificio, el arco brota entre los extremos de los carbones adyacentes, haciendo innecesario todo mecanismo.

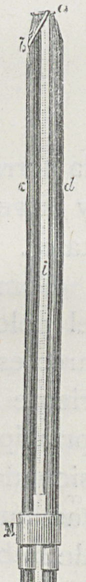


Fig. 420.—Bujía Jablochkoff

Un oficial ruso, Jablochkoff, fué el primero que, en 1876, dió esta solucion ingeniosa, económica y práctica, del alumbrado por la electricidad.

Los dos carbones son dos cilindros ó barritas, separadas por una sustancia aisladora, cuando fria, pero que á la temperatura del arco voltaico se hace sensiblemente conductora; esta sustancia, á la cual se da el nombre de *colombin*, fué primero el kaolin ó tierra de porcelana que daba mucha regularidad á la luz; pero hoy se prefiere una mezcla en partes iguales de yeso y barita (sulfato de cal y sulfato de barita), que no se funde como el kaolin, sino que se volatiliza

en el arco y aumenta la intensidad de su luz. Para encender esta bujía, se reunen las puntas libres de los carbones con una ligera capa de carbon *a* sostenida por una tira *ab* de papel de amianto ó simplemente impregnada de una mezcla de goma y plombagina. Al llegar la corriente á los carbones; esta capa se enrojece y sirve de cebo, por decirlo así, al arco voltaico.

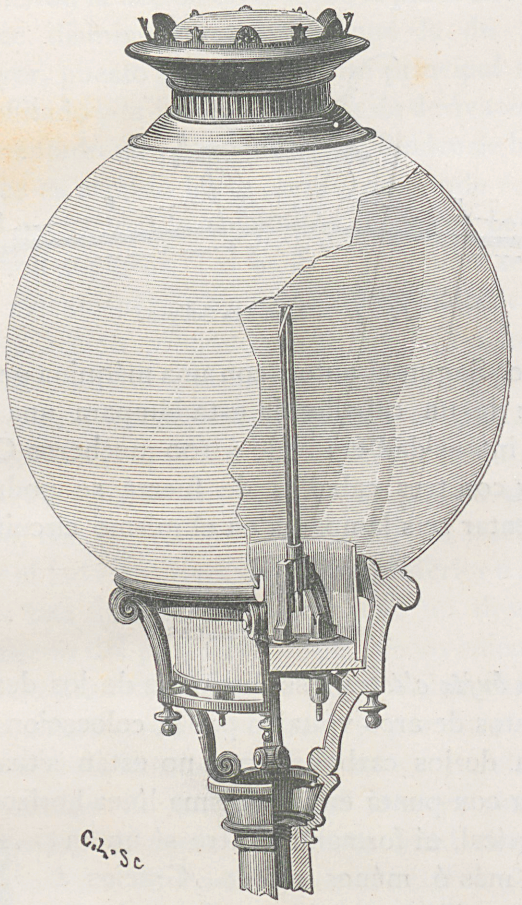


Fig. 421.—Lámpara Jablochkoff

Como la combustion es mucho más rápida en el polo positivo que en el negativo cuando el arco está alimentado por una máquina de corriente continua, Jablochkoff procuró en un principio remediar tan grave defecto que, ocasionando una diferencia de nivel entre las puntas, hubiera traido consigo la pronta extincion de la bujía, y dió al carbon positivo doble seccion que al negativo. Pero la experiencia ha demostrado que este último, á causa de su mayor resistencia, se enrojece en una gran longitud, por lo cual se ha preferido emplear generadores de corrientes alternativas, y así el desgaste de los carbones es constantemente. Se han hecho pruebas con las máquinas de la Alianza, Lontin, Gramme, Siemens y Wilde; pero la máquina auto-excitadora de Gramme es la que al parecer ha dado mejores resultados. Una de estas máquinas de cuatro circuitos alimenta veinte bujías, cinco por circuito. En los experimentos que se han hecho en Lóndres con las bujías Jablochkoff para el alumbrado de los muelles del Támesis, se ha podido encender y entretener una bujía á 14 kilómetros del generador eléctrico. Pero este es un resultado excepcional; en realidad y en la práctica corriente, la distancia media más ventajosa es de 150 metros; cuando es mayor debe instalarse un nuevo centro motor, ó emplear la electricidad en hacer funcionar una máquina que forme relevador.

La Compañía que explota el sistema de alumbrado Jablochkoff fabrica tres clases de bujías. La primera, cuyos carbones tienen 6 milímetros de diámetro, da una luz de 60 mecheros Carcel y requiere una fuerza de caballo y medio por bujía. La de 4 milímetros de diámetro equivale á 45 mecheros y absorbe la fuerza de un caballo. Por último la pequeña bujía de 3 milímetros que equivale á 25 ó 30 mecheros, exige de 4 á 5 caballos por una serie de 12 bujías. Con una longitud de 22 á 25 centímetros, la duracion de la luz es de hora y media á dos horas.

La fig. 421 muestra cómo se colocan las bujías en el interior del globo difundente. Se ponen cuatro en cada globo, sosteniéndolas con pinzas de muelles cuyos dos brazos aislados están en comunicacion con los hilos conductores. Primeramente se hace pasar la corriente por una de ellas, y cuando se ha consumido, el vigilante da vuelta á un conmutador y envia la corriente á otra, y así sucesivamente. De este modo se conserva el alumbrado por espacio de ocho horas.

La bujía Wilde (fig. 422), compuesta como la de Jablochkoff de dos carbones paralelos, difiere de esta en que los carbones no están separados por una sustancia aisladora: además, uno de ellos está fijo, al paso que el otro es móvil. La corriente, emitida por un lado al carbon fijo, y por otro al móvil, pasa por un electro-iman, situado en la base del sistema, y cuya armadura está unida á este último carbon con una palanca. Antes de penetrar la corriente el carbon móvil descansa sobre el otro, segun lo indican las líneas puntuadas del grabado; pero cuando se

cierra el circuito, la armadura es atraida, arrastra tras sí á la palanca y ésta al carbon que se coloca paralelamente al otro, conservando esta posicion miéntras pasa la corriente. La separacion de las puntas ocasiona la formacion del arco que brota entre ellas y subsiste hasta que se desgastan por completo los carbones. La bujía Wilde está alimentada por corrientes alternativas suministradas por una máquina del mismo autor ó una de la Alianza. Cuando el arco se apaga, los carbones se ponen de nuevo en contacto, y se vuelven á encender automática é instantáneamente por decirlo así.

Fundándose M. Jamin en que el arco voltaico no es otra cosa sino una porcion de corriente sometida como ellas á las leyes de Ampère sobre las acciones recíprocas de los elementos paralelos, ha discurrido el rodear los carbones de las bujías de un marco *director* formado de 40 vueltas de alambre de cobre fino y aislado. Las corrientes alternativas destinadas á alimentar el arco de la bujía pasan por los hilos del marco siguiendo un camino paralelo al que tienen en los carbones contiguos. Por consiguiente, si por el contacto de los dos carbones en un punto cualquiera de su longitud mediante

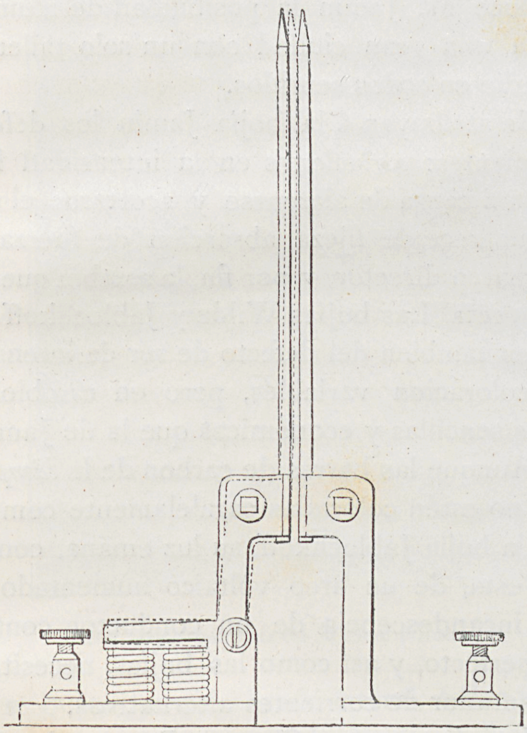


Fig. 422.—Bujía eléctrica de Wilde

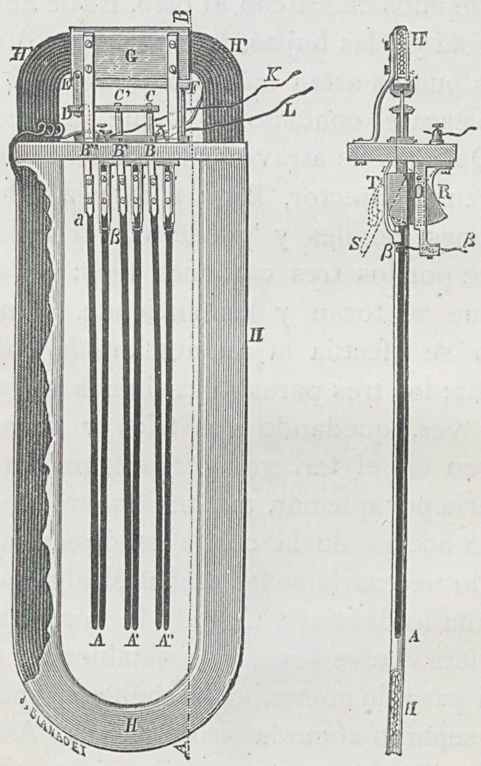


Fig. 423.—Lámpara Jamin

un tercer carbon se llega á producir la combustion, el arco voltaico quedará sometido, segun las leyes de Ampère, á la accion combinada de los cuatro lados del marco director, y pasará á las puntas de los carbones, permaneciendo fijo en ellas, y pudiendo ponerse la bujía en cualquier posicion, sin que el arco cese. La consecuencia de esta disposicion es poderse colocar el punto luminoso en la parte inferior, con lo cual se evitan las sombras, no siendo tampoco necesario el aislador de la bujía Jablochkoff.

Hé aquí la descripcion que hace M. Jamin de la última forma que ha dado á su lámpara eléctrica: «Descansa en una base de pizarra (fig. 423) que segun las necesidades se pone en globos ó faroles, y que sostiene en la parte inferior una gotera ó pantalla de cobre H H H, ancha pero poco gruesa, para evitar las sombras, y en la superior otra pantalla de hierro dulce G, que tiene por objeto imantarse y atraer una paleta móvil E F. La corriente alternativa de una máquina Gramme pasa primero por un alambre de cobre fino, enrollado quince ó veinte veces en las dos goteras y que constituye el circuito director. En medio de este marco y en su plano se colocan las bujías ó pares de carbon entre los cuales ha de brotar el arco. Hay tres de estos, pero se puede poner mayor número, si se quiere prolongar el alumbrado. Introdúcese cada uno de estos carbones en un soporte tu-

bular de cobre, en los que se mantienen verticalmente, sujetos por un muelle, con la punta hácia abajo. La operacion no ofrece dificultad ni requiere destreza alguna. No hay materia aisladora entre los carbones. Los de la derecha B A.... están fijos y verticales; los de la izquierda *a*... penden libremente alrededor de las articulaciones B B' B"; los remates de sus soportes están enlazados por una barrita C C' que les imprime un movimiento comun; la paleta E F está unida por medio de una palanca E D con esta barrita empujándola por su peso hácia la izquierda, lo cual acerca los carbones hasta que uno de ellos choca con el otro. Es de notar que una sola de las bujías, la más larga, ó aquella cuyas puntas están más próximas, será la que establezca el contacto, y la que se encenderá.

» Despues de atravesar la corriente eléctrica el circuito director, llega á la vez á los tres carbones móviles y puede volver indefinidamente por los tres carbones fijos; pasa entre los que se tocan y los enciende. Tan luégo como se efectúa la imantacion, la paleta es atraida; los tres pares de carbones se separan á la vez, quedando dos frios y formándose el arco en el tercero. Persiste, miéntras hay materia por quemar, mantenido en las puntas por la accion de la corriente directriz, y volviendo necesariamente á ellas si alguna causa extraña lo desviara. Cuando la corriente cesa, la paleta vuelve á caer y se restablece el contacto; si pasa de nuevo, los carbones se encienden y se separan como la primera vez. Así pues, el alumbrado es automático, instantáneo y renovable á beneplácito.»

M. Jamin demuestra cómo, al consumirse una bujía, la reemplaza otra, y por medio de qué artificio se obvia la extincion posible y repentina de una de las lámparas en el circuito, y enumera en los siguientes términos las ventajas de su bujía eléctrica: «En resúmen, nuestra lámpara reune muchas cualidades esenciales: se la enciende cuantas veces se quiera; solamente requiere un circuito para todas las bujías inmediatas; reemplaza automáticamente con carbones nuevos los que han ardido por completo; no necesita ninguna materia aisladora capaz de alterar el color de las llamas, ni prévia preparacion de carbones, lo cual disminuye considerablemente su gasto.»

El inventor ha llegado á alimentar hasta 24 focos con un motor de 8 caballos y la máquina Gramme llamada de 4 luces. «Por lo que hace á la luz de cada lámpara, dice, disminuye con su número; una sola, con la velocidad de 1,500 vueltas, equivale á 134 Carcels, 2 se reducen cada una á 113, y si son 14, tan sólo equivalen á 50.» La distancia á que puede hacerse llegar la luz va creciendo con la rapidez de rotacion de la máquina; á 1,500 vueltas, se puede introducir en el circuito un kilómetro de alambre de cobre de un milímetro; á 2,000 vueltas, hasta cuatro kilómetros del mismo alambre ó 16 kilómetros del de dos milímetros. De aquí deduce M. Jamin la posibilidad de alumbrar toda una gran ciudad con un solo taller que irradie en todos sentidos.

Se atribuyen á la bujía Jamin los defectos siguientes: variaciones en la intensidad luminosa á causa de alargarse y acortarse el arco, que carece de fijeza; absorcion de fuerza por el marco director, y por fin, la sombra que éste proyecta. Las bujías Wilde y Jablochkoff adolecen tambien del defecto de ser de intensidad ó coloracion variables, pero en cambio son más sencillas y económicas que la de Jamin.

Aunque las barras de carbon de la *lámpara-sol* no estén colocadas paralelamente como las de la bujía Jablochkoff, su luz emana, como la de esta, de un arco voltaico aumentado con la incandescencia de un conductor continuo imperfecto, y así como las bujías, necesita un generador de corrientes alternativas.

Los inventores Clerc y Bureau dan á su lámpara la forma representada en la figura 424. Los dos carbones, de forma semicilíndrica, forman entre sí un ángulo de unos 40°; resbalan por su propio peso al través de unas aberturas practicadas en un bloque rectangular compuesto de una mezcla de materias refractarias. como granito, piedra blanca y mármol. Sus puntas van á parar á una cavidad hecha en el bloque en forma de tejado; y el arco voltaico producido por el paso de la corriente (para la combustion, se reunen las puntas de los carbones con otra barrita muy fina de carbon que se calienta y consume casi al punto) toca precisamente la arista de dicho diedro de mármol ó de magnesia aglomerada. El arco producido se mantiene á distancia fija de las puntas de

los carbones, gracias á la sustancia refractaria que la elevacion de temperatura hace conductora é incandescente.

Dada la susodicha disposicion, esta lámpara despide su luz en forma de haz cónico muy abierto de arriba abajo. Pero se puede practicar la cavidad en uno de los lados del bloque,

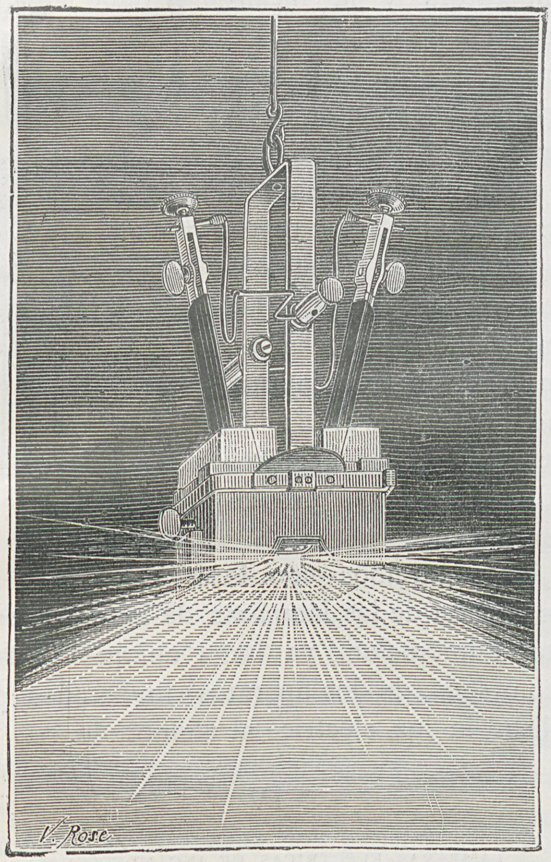


Fig. 424.—Lámpara sol de Clerc y Bureau

si se quiere un alumbrado lateral, ó dar vuelta á la lámpara, si se trata de dirigir la luz hácia arriba, por ejemplo, de iluminar un techo. En este último caso, se necesitan muelles que empujen los carbones.

La fijeza del punto luminoso, la de la luz misma, cuyo color ligeramente amarillo es agradable á la vista y nada molesto, y la sencillez inherente á la carencia de todo mecanismo, son las cualidades principales que distinguen á la lámpara sol. Como todos los aparatos que funcionan por medio de corrientes alternativas, produce un ruido desagradable; pero que no se advierte en los aparatos en que la lámpara está metida en faroles perfectamente cerrados. Los carbones se desgastan muy despacio, variando el consumo entre 8 y 15 milímetros por hora, y como su longitud puede ser de 25 centímetros, la duracion del alumbrado no baje de diez y seis horas. Segun los experimentos hechos en Bruselas en 1881, la intensidad luminosa de dos lámparas alimentadas por una máquina Gramme (á 2,000 vueltas) era de 580 Carcels; con doce lámparas en el circuito, esta intensidad llegaba á 140.

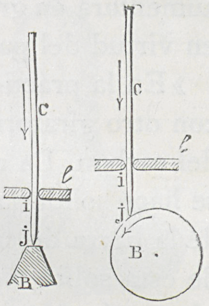


Fig. 425.—Principio de construccion de la lámpara Reynier

M. E. Reynier ideó en 1878 una lámpara cuyo principio describe el inventor en estos términos: «Una barrita de carbon cilíndrica ó prismática C está atravesada en *i* y *j* por una corriente continua ó alternativa bastante intensa para ponerla incandescente en esta porcion. La corriente entra ó sale por el contacto *l* y sale ó entra por el contacto B. El *l*, que es elástico, compri-

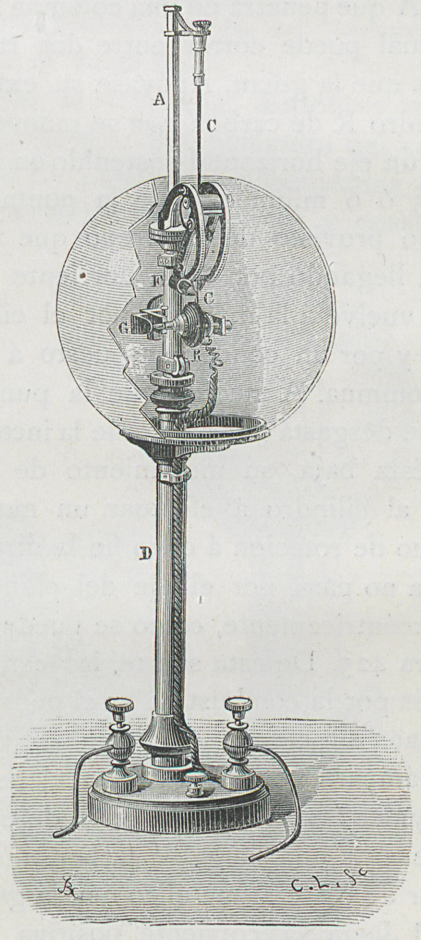


Fig. 426.—Lámpara Reynier

me la barrita lateralmente; el B la toca por una punta. En tales condiciones, el carbon se consume por su extremo *j* más pronto que por cualquier otro sitio, y tiende á acor-

tarse; por consiguiente, si el carbon C es empujado continuamente en la direccion que marca la flecha de modo que tropiece sin cesar con el contacto B, avanzará gradualmente conforme se vaya consumiendo, corriéndose por el contacto lateral *l*. La combustion del carbono aumentará en gran manera el calor desarrollado en virtud del paso de la corriente por la barrita.

»En la práctica, reemplazo el contacto fijo con otro giratorio B que se lleva las cenizas del carbon. La rotacion del contacto de punta se hace solidaria del movimiento de progresion de la barra de carbon, de suerte que la posicion de esta sobre dicho contacto refrena el mecanismo motor.»

Véase ahora la disposicion adoptada por M. Reynier para construir una lámpara que funciona con arreglo al principio expuesto.

C C (fig. 426) es una barra de carbon de dos milímetros de diámetro, sostenida por una varilla A que penetra en una columna hueca D, en la cual puede correr entre dos ruedecitas macizas que la guian. Apóyase su extremo en un cilindro R de carbon que se mueve alrededor de un eje horizontal sostenido en la columna. A 5 ó 6 milímetros de la punta hay un contacto provisto de un freno que sujeta la barrita, llegando por él la corriente positiva, la cual vuelve á la máquina por el cilindro de carbon y por un conductor puesto á lo largo de la columna. A medida que la punta de la barra se desgasta por efecto de la incandescencia, y ésta baja, su movimiento de descenso obliga al cilindro á efectuar un movimiento continuo de rotacion á cuyo fin la direccion de la barra no pasa por el eje del cilindro, sino algo excéntricamente, como se puede ver por la figura 425. De esta suerte, las cenizas acumuladas por la combustion en el punto de contacto caen sin cesar.

La lámpara de Werdermann viene á ser la de Reynier invertida. La accion de un contrapeso levanta una barra de carbon móvil en el interior de un tubo metálico que la guia y por el cual llega la corriente positiva, viniendo dicha barra á dar contra un recio disco de carbon que forma el polo negativo del arco. La pequeña porcion de la barra comprendida entre el disco y el tubo que la contiene es la única atravesada por la corriente; se pone incandescente y su luz se agrega á la del reducido arco voltaico que brota en el intervalo de los dos carbones. La gran resistencia que el contacto imperfecto de estos opone al paso de la corriente es la que, tanto en la lámpara Werdemann como en la de Reynier, produce la elevada temperatura y la incandescencia de la barra. La punta de esta arde con vivísimo resplandor, y las partículas de carbon que se volatilizan y radian en torno de ella constituyen en realidad un verdadero arco voltaico. Así pues, las lámparas de esta clase no son de incandescencia pura, sino que forman el tránsito entre estas y los aparatos de arco voltaico propiamente dicho.

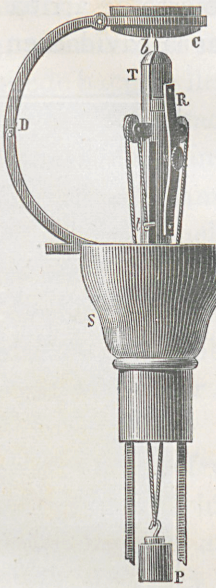


Fig. 427.—Lámpara Werdermann

Terminaremos con la descripcion de las lámparas de incandescencia esta enumeracion, ya larga aunque bastante incompleta, de los aparatos inventados para aplicar la luz eléctrica al alumbrado.

IV

LÁMPARAS ELÉCTRICAS DE INCANDESCENCIA

Hácese remontar al año 1841 la fecha de los primeros ensayos de alumbrado eléctrico por incandescencia, y en efecto, el inglés F. de Moylens construyó hácia dicha época una lámpara cuya luz emanaba de un alambre de platino incandescente. Starr y King renovaron esta tentativa en 1844, Petrie en 1849 valiéndose del platino iridiado y Changy en 1857, empleando delgadas barritas de carbon de retorta metidas en redomas de vidrio en las que se habia hecho el vacío. La propiedad que tiene el carbon de adquirir un gran poder de radiacion, su resistencia mucho más considerable que la del platino, y sobre todo su infusibilidad le hicieron preferible al platino en las investigaciones de los sabios y de los inventores. Citemos tambien los nombres de Lodyguine, Konn, Bouliguine y Sawyer, quienes de 1873 á 1879 construyeron lámparas basadas

en la incandescencia del carbon al aire libre, en el vacío, ó en un medio impropio para la combustion, como el nitrógeno.

Por último, despues de hacer nuevos pero infructuosos ensayos con el platino, se volvió á hacer uso del carbon, y se idearon varios sistemas de lámparas de incandescencia con los que se pudo vencer las dificultades prácticas con que tropezaran los primeros inventores. Vamos á describir sucesivamente las cuatro lámparas que han funcionado con éxito en la Exposicion de Electricidad, y que á decir verdad tienen bastante analogía.

En las lámparas Edison, el carbon retorcido en forma de U es un filamento de fibras de bambú carbonizado por un procedimiento especial. A pesar de su extraordinaria tenuidad, este filamento ha adquirido gran rigidez; sus puntas, un tanto abultadas, están sujetas por una especie de pinzas de platino de las que parten hilos conductores de platino tambien. Todo ello va herméticamente cerrado en una bombilla de cristal de forma oblonga, en cuyo interior se hace el vacío con una bomba de mercurio. En el momento de hacer el vacío, se calienta el carbon hasta la incandescencia, de suerte que al expulsar en virtud de esta operacion las últimas burbujas gaseosas introducidas en los poros del filamento, se da á este una dureza y una densidad extraordinarias. En tales condiciones se produce la incandescencia sin que haya combustion, no siendo ya de temer la disgregacion de las partículas carbonadas que ocurria en los primeros ensayos y que habia malogrado la operacion. Edison construye dos tipos de estas lámparas, cuya intensidad estima en 1,6 Carcel para el primero y 0,8 para el segundo. El carbon acaba necesariamente por gastarse, pero segun se dice, la luz dura 1,200 horas. Más adelante trataremos de la gran máquina de luz del mismo físico, la cual es capaz de alimentar 2,400 lámparas del segundo tipo en el mismo circuito.

El filamento de carbon de la lámpara de incandescencia de Lane-Fox se compone de briznas de grama carbonizadas, cuyas puntas penetran en dos pequeños cilindros de plombagina, en los que se introducen tambien los alambres de platino conductores del circuito. Lo propio que en el sistema Edison, se lleva el carbon á la incandescencia al mismo tiempo que se hace el vacío en la campana de vidrio con la bomba de mercurio. Dícese que basta la fuerza de dos caballos para alimentar 15 lámparas Lane-Fox, cada una de las cuales equivalga á 1,2 Carcel.

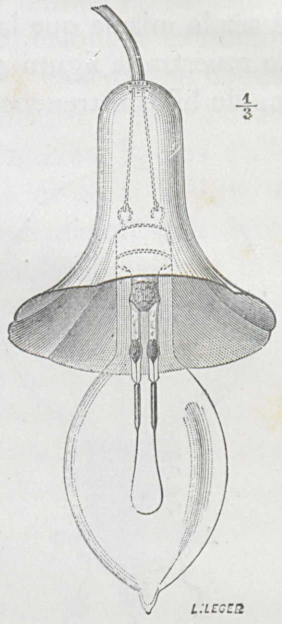


Fig. 428.—Lámpara Lane-Fox

El carbon de las lámparas Maxim (fig. 429) tiene la forma de una M, cortada en un carton bristol préviamente carbonizado entre dos planchas de hierro caldeadas á un grado conveniente. Despues de hacer el vacío en el recipiente de vidrio, se introduce en este el vapor de un hidrocarburo (gasolina), y se renueva el vacío haciendo pasar la corriente. Entónces se forma en la superficie del filamento del carbon un depósito de partículas carbonizadas de la gasolina, que lo hacen más tenaz y resistente.

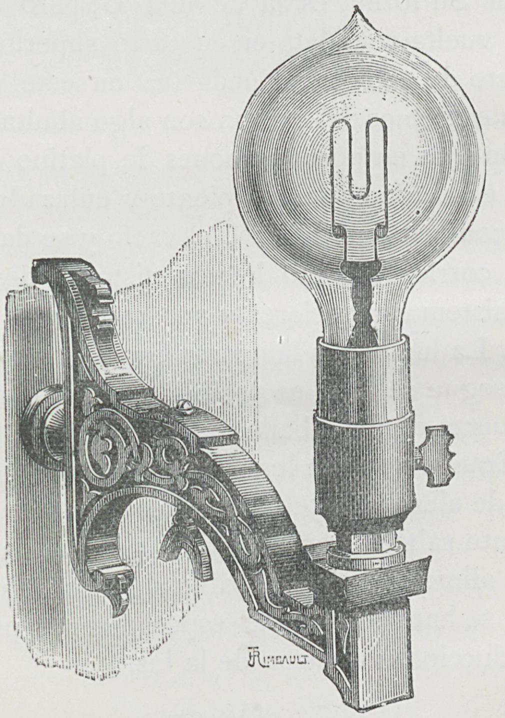


Fig. 429.—Lámpara Maxim

La forma del carbon y sus dimensiones mayores que las de otras lámparas, contribuyen á dar á las de Maxim gran intensidad. El inventor asegura que con un caballo de fuerza pue-

de alimentar 6 lámparas de 2,6 Carcel cada una.

El último sistema de alumbrado eléctrico por incandescencia que nos falta describir es el de Swan. La disposicion de sus lámparas viene á ser la misma que la de las anteriores, como lo muestra la figura 430. El carbon se compone de hilos ó trencitas de algodon de un decímetro de longitud, á las cuales se les da la consistencia del pergamino metiéndolas en un baño de ácido sulfúrico bastante diluido en agua. Su forma es la de una U, pero dando una vuelta completa en su parte superior, con objeto de concentrar más luz en este punto. Los extremos del carbon son algo abultados, y están fijos en porta-carbones de platino soldados en el fondo del recipiente y enlazados con los conductores. Hácese el vacío y se da paso á la corriente como hemos visto al describir los sistemas anteriores y por los mismos motivos. La luz de las lámparas Swan es muy blanca; segun se dice, es posible alimentar 10 con la fuerza de un caballo.

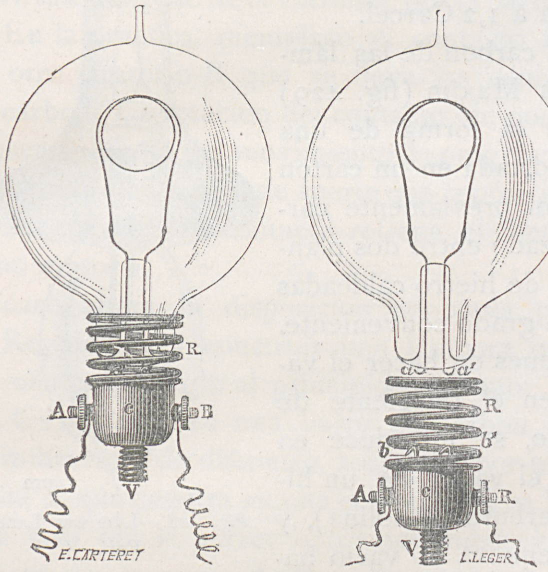


Fig. 430.—Lámpara Swan

Enumerados ya los sistemas más importantes de alumbrado eléctrico, réstanos completar cuanto sabemos acerca de los generadores que los alimentan, y describir algunas máquinas que se han combinado especialmente para la produccion y division de la luz.

V

LAS MÁQUINAS DE LUZ

Los generadores de electricidad que hemos descrito en el capítulo X de la primera parte de este volúmen son susceptibles de muchas y variadas aplicaciones; pero los grandes progresos que se han realizado en estos últimos años en los aparatos de alumbrado han inducido á los constructores de máquinas magneto ó dinamo-eléctricas á hacer investigaciones que han tenido por objeto su aplicacion especial á la produccion de la luz, habiéndose ingeniado en mejorar su rendimiento, y luégo en resolver dos cuestiones particulares íntimamente unidas á la solucion práctica del alumbrado público ó privado por la electricidad. Una de estas cuestiones es la de la *division de la luz*, es decir, la de una combinacion merced á la cual se pueda alimentar con una sola máquina, en un mismo circuito ó en muchos circuitos derivados, el mayor número posible de focos luminosos. No cabe duda de que en muchos casos sólo se trata de producir el foco más intenso posible y concentrar la luz por medio de proyectores en un espacio limitado. Pero lo que es ventajoso en los casos á que aludimos, es, por el contrario, un obstáculo cuando se trata del alumbrado público, exterior ó interior; entónces la division, la distribucion de la luz del arco en un gran número de lámparas que la difundan, es una condicion esencial del buen resultado de la operacion.

Por otra parte, como la invencion de las bujías eléctricas y otros aparatos análogos ha hecho necesario el empleo de corrientes alternativas, ha traido tambien consigo la modificacion de las máquinas existentes, precisamente acondicionadas para producir corrientes continuas.

La solucion de esta cuestion era muy sencilla en lo que respecta á las máquinas magneto-eléctricas. Y en efecto, hemos visto que estas máquinas daban naturalmente á cada vuelta dos corrientes de sentido contrario y que para obtener corrientes continuas se las provee de un conmutador. Basta, pues, reemplazar este aparato con un simple colector de corrientes para conseguir la trasformacion apetecida. Por lo demás, las grandes máquinas de Nollet y Malderen ó de la *Alianza*, y la de Meritens usada en el alumbrado de los faros, son de corrientes alternativas. La solucion no es ya tan fácil cuando se trata de máquinas dinamo-eléctricas, en las que la corriente continua de la máquina sirve para imantar los conductores.

Por esto ha habido que emplear dos máquinas: una de ellas ha recibido el nombre de *excitadora*, porque sirve para animar ó excitar los electro-imanes de la segunda; ésta toma el de *máquina de luz* ó de *division de luz*, porque su mision consiste en proporcionar las corrientes alternativas necesarias para la alimentacion de los focos luminosos.

A M. Lontin le cabe el honor de haber dado la solucion de este doble problema. Ya hemos descrito la máquina que este físico usa como excitadora de su máquina de division; réstanos ocuparnos de esta última.

Los dos sistemas, inductor é inducido, que la componen, están formados de dos cilindros concéntricos, uno de los cuales, el exterior, está fijo, y el otro, el interior, que constituye el inductor, es móvil. Este último es semejante al piñon magnético de la máquina excitadora (véase fig. 223, pág. 182), es decir, se compone de una serie de hélices A, cuyos núcleos están colocados en la direccion de los radios del cilindro. Las espiras de estas hélices, en número de 24, están enrolladas de una á otra en sentido contrario, de suerte que, por la influencia de la corriente de la excitadora que

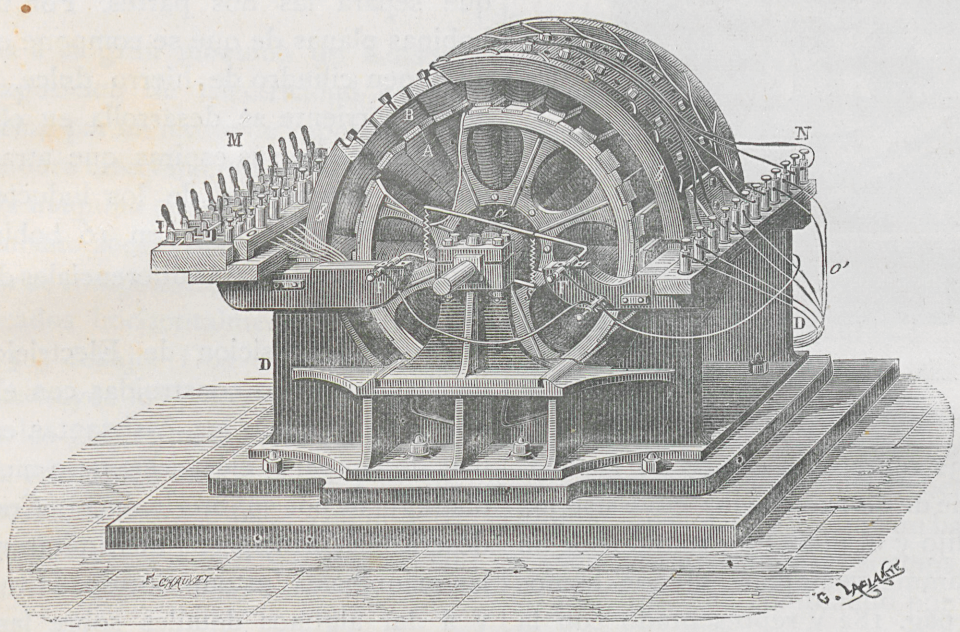


Fig. 431.—Máquina de division de luz de Lontin

llega al piñon por los dos tornillos de presion F F, las polaridades de dos hélices consecutivas son alternas. El cilindro ó la corona que forma el inducido consta tambien de 24 bobinas magnetizantes, B, reunidas dos á dos de modo que constituyen doce sistemas electro-magnéticos completos. Cuando empieza el movimiento de rotacion del sistema, los polos magnéticos de las bobinas inductoras pasan sucesivamente por delante de los polos de las bobinas del inducido, pero sin tocarlos, resultando en estas bobinas corrientes de induccion alternativas, cuyo sentido cambia 24 veces á cada vuelta. Recogen estas corrientes unos hilos empalmados á tornillos fijos en los lados de la máquina, en M N, y de allí van á parar á todas las lámparas puestas en el circuito. En virtud de esta disposicion, la máquina Lontin puede alimentar 12 focos luminosos. Pero mediante un conmutador de brazos puesto en M y ciertas placas de contacto, se puede agrupar como se quiera las corrientes de las bobinas inducidas, establecer en caso necesario 24 circuitos, en una palabra, dividir la luz en focos de intensidades iguales ó desiguales, segun las necesidades del alumbrado.

«Esta máquina, dice Du Moncel, se ha utilizado para alumbrar la estacion del ferro-carril de Lyon, donde suministraba 31 focos luminosos, los cuales resultaban de un solo generador eléctrico y de dos sistemas inducidos de 24 bobinas cada uno. Acoplando estas bobinas é interponiendo en cada uno de sus circuitos muchos reguladores eléctricos del sistema Lontin, ha sido posible, en virtud de una combinacion adecuada de dichas bobinas con relacion á la longitud del circuito exterior, ha sido posible, decimos, elevar hasta 31 el número

de focos, cada uno de los cuales equivalia á 40 mecheros Carcel.» Estas máquinas están tambien instaladas en la estacion de San Lázaro en Paris, donde alimentan 12 focos luminosos, dos de ellos situados á 700 metros del generador.

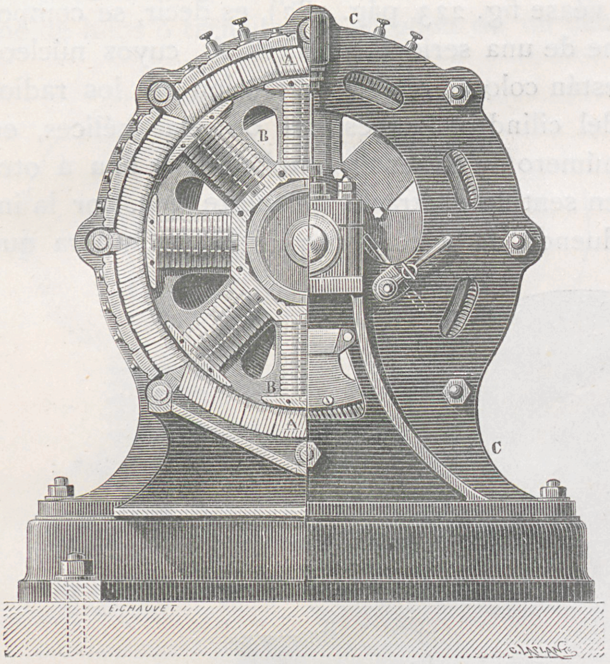


Fig. 432.—Máquina Gramme de division de luz

La figura 432 representa el tipo de las máquinas Gramme de division de luz, cuyo sistema inducido está fijo y el inductor excitado por un generador Gramme semejante al que hemos descrito en la pág. 182 y representado con la denominacion de *tipo de taller* en la fig. 222.

El sistema inductor móvil lo constituye un eje de acero que lleva ocho cilindros de hierro dulce de los electro-imanes B colocados alrededor del cubo octogonal del árbol. La corriente de la máquina excitadora pasa á las bobinas de estos electro-imanes por dos penachos de alambre de cobre plateado. Los ocho polos del sistema inductor son alternos, de modo que á uno boreal sigue otro austral, y llevan armaduras ensanchadas que dejan entre sí un reducido espacio. El sistema inducido se compone de 32 bobinas exteriores enrolladas en un hierro dulce anular ó en una serie de segmentos circulares del mismo metal puestos punta con punta. Se puede acoplar las bobinas de hierro dulce de 2 en 2, de 4 en 4 ó de 8 en 8 de modo que se obtengan 16, 8 ó 4 corrientes distintas, ó dejarlas independientes, lo que eleva el número de corrientes á 32. El sistema inductor desarrolla en las bobinas del inducido, con su movimiento de rotacion, corrientes de sentido contrario alternativamente.

Esta máquina funciona desde 1878 para alimentar los focos eléctricos de la plaza de la Opera.

M. Hefner Alteneck ha hecho que la casa Siemens le construya una máquina de corrientes alternativas y de division de luz que difiere de las de Lontin y Gramme en que los electroimanes inductores están fijos y las bobinas inducidas son móviles. El sistema inductor es doble, y el inducido gira en el espacio anular que separa las dos partes. Por último, las bobinas planas de que se compone este último no tienen cilindro de hierro dulce, de suerte que la corriente se desarrolla en ellas por el movimiento de sus espiras que atraviesan los núcleos magnéticos de los inductores. Una máquina de esta clase con 16 bobinas puede alimentar 20 lámparas diferenciales de Siemens en dos circuitos.

En la Exposicion de Electricidad habia muchas máquinas construidas con el principal objeto de producir luz, casi tantas como sistemas de lámparas eléctricas; pero muy pocas se distinguian por su originalidad. Como hemos descrito las principales, nos limitaremos á citar las máquinas Weston, Burgin, Hiram-Maxim, y á dar algunos detalles sobre las del gran inventor americano, Tomás Edison.

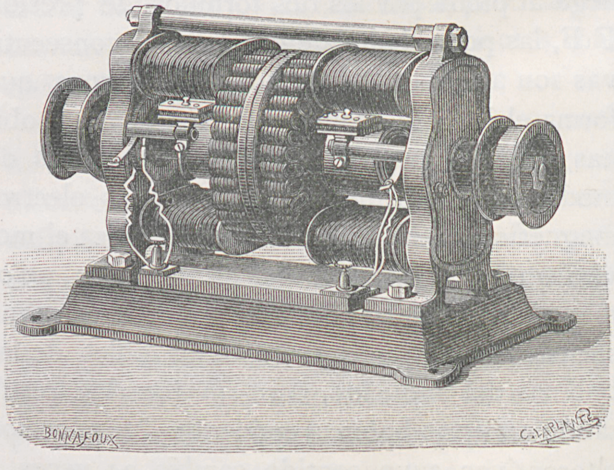


Fig. 433.—Máquina de luz Wallace-Farmer

Antes de idear y de construir una máquina especial para alimentar sus lámparas de incandescencia, habíasele ocurrido á Edison emplear un generador inventado en 1875 por M. Farmer de Boston, y perfeccionado por otro construc-

tor americano, M. Wallace. Examinando la figura 433 que representa la máquina Wallace Farmer, se ve que está formada de dos partes iguales que pueden funcionar separadamente. El inducido es un disco de hierro que lleva en sus dos caras dos coronas de electro-imanes rectos, las cuales tienen la forma de dos bobinas más gruesas que anchas enlazadas en tension y cuyos hilos se reunen en el eje de rotacion con un colector Gramme. Este sistema gira á cada lado entre dos gruesos electro-imanes de brazos aplanados, opuestos por sus polos contrarios, que forman el inductor de la máquina.

Lleguemos á la gran máquina de Edison. La de la Exposicion de Electricidad estaba puesta en accion por un motor de vapor, de 125 caballos, que obra directamente sobre el eje de rotacion de la máquina generadora, y que descansa en el mismo zócalo que esta.

El inductor se compone de 8 grandes electro-imanes, colocados horizontalmente, 3 encima del inducido y 5 debajo. Dos enormes masas de hierro constituyen los polos de los electro-imanes, entre los cuales gira la bobina inducida. Los alambres enrollados en los núcleos de los inductores son relativamente finos y montados en derivacion. Pero lo que hay de original en esta máquina es el modo cómo está dispuesta la bobina inducida. En lugar de alambres enrollados, como en la de Siemens, paralelamente á las generatrices del cilindro, hay barras de cobre que comunican entre sí dos á dos por un número igual de delgados discos anulares, puestos en los dos extremos del cilindro y aislados por láminas de mica. Cada disco lleva dos apéndices ú orejas salientes casi diametralmente opuestas, penetrando respectivamente en ellas una de las barras de cobre que se han de enlazar una con otra. El núcleo de la bobina que lleva en su centro el eje de rotacion, lleva tambien alrededor de este eje otro núcleo de madera con discos de hierro separados por rodajas de papel, con lo cual la masa magnética experimenta más fácilmente las imantaciones y desimantaciones sucesivas. El inducido lleva 138 barras de cobre, cuyos extremos forman alrededor del tambor una curva en espiral, procedente del sistema de enlace que acabamos de describir.

Construyóse tan gigantesca máquina con objeto de alimentar 2,400 lámparas del segundo tipo Edison ó de 0,8 Carcel, ó 1,200 lámparas del primer tipo. Debe advertirse que sólo es uno de los doce generadores que deben servir para el alumbrado eléctrico de todo un barrio de Nueva York, con arreglo á un sistema de canalizacion y distribucion combinado por el inventor.

CAPÍTULO XIII

EL ALUMBRADO POR LA ELECTRICIDAD

I

EL ALUMBRADO ELÉCTRICO EN LA INDUSTRIA

Una de las primeras aplicaciones que se han dado á la luz eléctrica producida por los aparatos de arco voltaico ha sido el alumbrado de los grandes trabajos de construccion, siempre que ha habido un interés urgente en terminar alguna obra y relevar los operarios de dia con otros de noche. La primera tentativa de esta clase, que sepamos, data de la reconstruccion del puente de Nuestra Señora de Paris; despues se ha hecho uso de la luz eléctrica en las obras de los Docks, en las del nuevo Louvre, del puente de Kehl, etc. Pero de algunos años á esta parte se ha hecho este uso tan frecuente en Francia y en el extranjero, que seria enojoso enumerar los trabajos de este género. Limitémonos á decir que á la luz eléctrica se debió la rápida conclusion del palacio del Trocadero cuando la Exposicion de 1878, la del Salon de sesiones del Senado en el Luxemburgo, y la pronta construccion del puente de los Inválidos.

Esta clase de instalaciones se van multiplicando en todas partes, para el alumbrado de fábricas, talleres y almacenes. Sin embargo, en muchos casos el problema por resolver consistia en obtener á la vez una luz abundante y una difusion todo lo completa posible. Para dedicarse á trabajos delicados, una sola luz demasiado fuerte, no sólo cansa la vista, sino que tiene el inconveniente de producir contrastes de luz y sombra molestos. Mas como con los aparatos de division se pueden multiplicar los focos alimentados por una misma máquina, han desaparecido en gran parte los defectos que tenian los focos únicos y demasiado poderosos. Una de las grandes ventajas de la luz eléctrica comparada con la del gas es la supresion casi completa del calor desprendido por los antiguos mecheros, cuya combustion viciaba además el aire. Por lo que hace á la higiene, la ventaja es muy digna de tener en cuenta, no siendo menor por lo que respecta á otros trabajos. En muchos talleres los obreros necesitan juzgar de los colores y de sus matices; pues bien, el nuevo alumbrado tiene la preciosa propiedad de no alterarlos, de conservar hasta los tonos más delicados, sus verdaderos valores respectivos, con lo cual se evitan muchas equivocaciones que eran casi inevitables con la luz amarillo-rojiza del gas.

Aunque los riesgos de incendio no se evitan en absoluto, son muchos menores con el alumbrado eléctrico que con el de gas, por lo cual no es de extrañar que los dueños de grandes almacenes adopten sin vacilar los aparatos eléctricos, máquinas y lámparas, que dan á los escaparates tanto esplendor y tanta riqueza. De algunos años á esta parte se van alumbrando eléctricamente los salones, patios y jardines de las principales fondas y de los grandes establecimientos financieros, ya con lámparas de arco voltaico, provistas de tubos opalinos para difundir y suavizar la luz, ó bien con lámparas de incandescencia de varios sistemas.

Síguese haciendo pruebas de alumbrado eléctrico en otros grandes edificios públicos sumamente interesados en el buen éxito de aquellas. Nos referimos á las Bibliotecas, Museos y Teatros. El salon de lectura del Museo Británico está ya alumbrado por el sistema Siemens; todo el mundo ha tenido noticia de las brillantes pruebas hechas en el gran teatro de la Opera en Paris, en el cual se ha hecho el ensayo de varios sistemas juntamente con el gas, habiéndose puesto cierto número de lámparas en la escalera principal, en la platea, en el escenario y en el salon de descanso, de cuyo brillante efecto ha podido juzgarse. Posteriormente, se ha instalado el nuevo alumbrado en el teatro de Variedades.

Como se comprenderá, la adopcion de este sistema no es tanto de desear desde el punto de vista artístico considerado, como por lo recomendable que lo hacen la seguridad y la higiene. Las horrorosas catástrofes ocurridas en el teatro Ring de Viena, en el de Niza y otros, y que han sido causa de la muerte de tantas personas, serian, ya que no imposibles, por lo ménos muy difíciles con los focos eléctricos: como la certidumbre de esta casi seguridad tranquilizaria á los espectadores, no se apoderaria de ellos ese terror pánico que causa más víctimas que el mismo fuego.

Al hablar de esta aplicacion de la luz eléctrica, nos referimos al alumbrado propiamente dicho, cuestion bastante compleja á causa de las múltiples exigencias, á menudo contradictorias, de los servicios que incumben á una administracion teatral. Pero si sólo se trata del uso de la luz eléctrica para producir en la escena ciertos efectos de aparato, entónces varía la cuestion. Cuando se representó el *Profeta* por primera vez en 1846 en la Opera, se hizo uso de ella para producir un efecto de sol naciente, y el resultado fué completamente satisfactorio. En 1860 M. Duboscq consiguió reproducir con el arco voltaico y una combinacion adecuada de lentes, pantallas y prismas, el *arco-íris*, meteoro luminoso muy difícil de imitar con los antiguos medios escénicos; y luégo siguieron imágenes de incendios, de relámpagos, de cascadas ó fuentes luminosas, etc., etc. Para estas aplicaciones especiales se produce la luz, no con máquinas eléctricas, sino con la pila, por la sencilla razon de que para la instalacion de máquinas y motores y para ponerlos en actividad se requiere cierto espacio de tiempo y son más á propósito para un alumbrado que deba durar muchas horas. Para efectos aislados y cortos, como los que acabamos de mencionar, el uso de la pila es más sencillo.

II

ALUMBRADO ELÉCTRICO DE LOS FAROS

Los numerosos aparatos, lámparas y generadores, inventados durante un período que apénas data de cuarenta años, pero que se han multiplicado extraordinariamente en estos últimos tiempos, indican sobrado los progresos que ha hecho el alumbrado eléctrico. A las indicaciones de sus aplicaciones á la industria hechas en el artículo anterior, añadiremos ahora la que tiene por objeto el alumbrado de las costas ó iluminacion de los faros.

En el segundo tomo del MUNDO FISICO consagrado á la Luz hemos visto á cuán alto grado de perfeccion habia llegado el sistema de proteccion de las costas de Francia merced á la invencion de las lentes escalonadas. Gracias

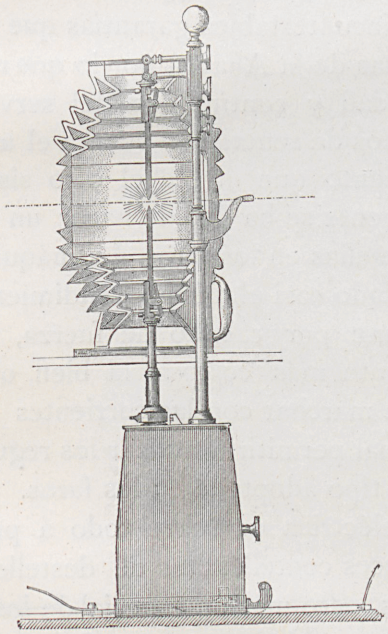


Fig. 434.—Aparato foto-eléctrico del faro de la Heve

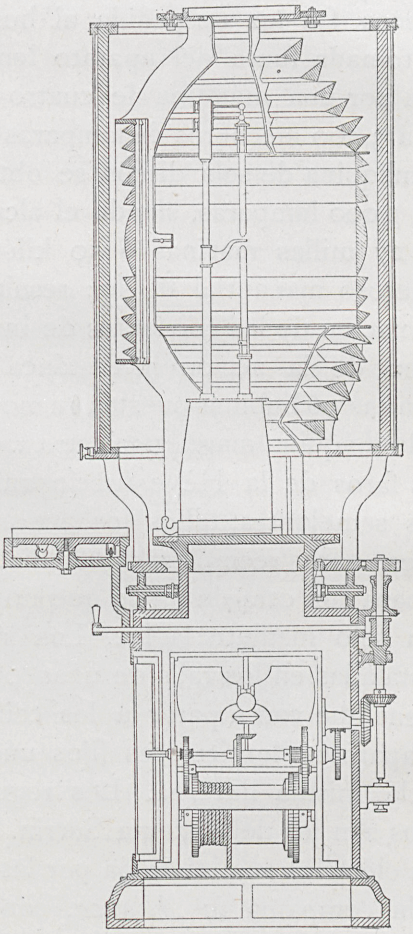


Fig. 435.—Aparato foto-eléctrico del faro de Planier

á los admirables aparatos lenticulares de Fresnel, los faros de primer órden tienen en tiempos normales suficiente alcance para el servicio de las costas; pero no sucede lo propio en las noches brumosas, precisamente cuando más necesita el marino cerciorarse del rumbo que sigue. Aumentar el número de mecheros Carcel no hubiera sido una solucion satisfactoria, porque el alcance no depende solamente del diámetro aparente de la luz, sino de su brillo intrínseco. Para este objeto resultaba naturalmente indicado el uso de la luz eléctrica, cuya intensidad es tan considerable; pero no era posible su aplicacion si no se encontraba ántes un aparato regulador conveniente y máquinas que produjesen una cantidad de luz bastante grande. Los reguladores Foucault, Serrin y otros llenaban la primera de estas condiciones; con las máquinas magneto-eléctricas de Nollet, ya descritas, se ha podido llenar la segunda. Inauguróse la luz eléctrica en 1863 en los faros de la Hève, y posteriormente en el faro de Gris-Nez y en el de Planier. En Inglaterra hay seis faros eléctricos, situados uno en Dungeness, otro en Souter Point, dos fijos en South Foreland, y otros dos fijos tambien en el cabo Lizard. Estos dos últimos están alimentados por máquinas dinamo-eléctricas de

Siemens; los anteriores por máquinas magneto-eléctricas de Holmes. En el resto del mundo hay cuatro faros eléctricos, uno en Odessa, otro en Puerto Said, y los otros dos en White Rock y en los Border Flats (Estados Unidos).

Las máquinas eléctricas de los dos faros de la Hève están movidas por dos máquinas de vapor locomóviles de fuerza de 8 á 10 caballos. Con una velocidad de rotacion de 400 vueltas por minuto se obtiene el máximum de intensidad luminosa. La luz despedida al horizonte, es decir, tomada fuera del aparato lenticular, producida por una máquina de cuatro discos, equivale á 3,500 mecheros de lámparas Carcel; con una máquina de seis discos se obtiene el efecto de 5,000 lámparas, siendo el alcance de la luz de 27 millas marinas ó 50 kilómetros. Este poderoso manantial de luz resulta pues de la asociacion de las corrientes de induccion que nacen de la accion instantánea de 48 imanes en las 96 bobinas puestas en movimiento en cada máquina magneto-eléctrica.

En los faros de la Hève funcionan cuatro máquinas semejantes; todos los aparatos son allí dobles, para reemplazar inmediatamente una lámpara con otra de modo que no se suspenda un solo instante la luz. Las lámparas están instaladas en los rails de unas pequeñas vías férreas que van á parar á los centros de los dos aparatos lenticulares fijos uno sobre otro en la misma linterna. Los reguladores empleados son los del sistema Serrin.

La luz eléctrica suministrada por las máquinas de la compañía *la Alianza*, construidas por Van Malderen, no tan sólo aventaja en intensidad á la de los aparatos alumbrados con aceite en la proporcion de 5 á 1, sino que tambien es más económica. Al paso que un faro de luz fija de primer órden exige un gasto de 3 fr. 70 c. por hora, un faro eléctrico como los de la Hève sólo cuesta 2 fr. 79 c. (máquina de cuatro discos); á igualdad de intensidad, el gasto es siete veces menor. Pero aquí se trata de un servicio que no permite interrupcion alguna; en la industria, el coste seria mucho menor, con tal que se tuviese encendida la luz por lo ménos diez horas diarias. Además, en el caso de que la fuerza motriz pudiera sacarse de poderosas máquinas que funcionasen para atender á otras necesidades, como en muchos talleres, la luz eléctrica apénas costaria más de lo que valiera el amortizar el precio de la máquina magneto-eléctrica y del regulador.

Hace algun tiempo que se han hecho experimentos comparativos en el Depósito de faros entre las máquinas magneto-eléctricas construidas por Van Malderen, la de Meritens y tres dinamo-eléctricas de Gramme, habiendo resultado de estos experimentos que «las máquinas Gramme dan más intensidad luminosa que las de la Alianza, gastando la misma fuerza. Las nuevas máquinas de este sistema han realizado un gran adelanto con relacion á las antiguas, por cuanto su intensidad ha aumentado una mitad más, siquiera exijan al propio tiempo un aumento de fuerza casi proporcional. Las máquinas Gramme dan, con el mismo aumento de fuerza, 40 ó 45 más de luz. A pesar de las incontestables garantías que ofrecen las máquinas de la Alianza por lo que respecta á la seguridad y continuidad del servicio, no puede ménos de tenerse en cuenta el aumento de rendimiento que ofrece el otro sistema y necesariamente se ha debido hacer un ensayo práctico de ellas en los faros. La máquina Meritens ha dado casi el mismo rendimiento que las Gramme por caballo de fuerza, pero es relativamente más costosa, si bien ofrece la ventaja de marchar con las corrientes alternativas, lo cual permitiria utilizar los reguladores Serrin del tipo adoptado en los faros.

La luz eléctrica es sobre todo á propósito para las luces centelleantes de destellos blancos ó rojos, pero más en especial de los primeros, cuya intensidad es mayor. Calculando las intensidades totales de las luces reflejadas en el horizonte por los aparatos de luz fija, se ve que equivalen á 12,000 mecheros con las máquinas de la Alianza, y á 20,000 con las Gramme del tipo C. En los tambores que admiten destellos rojos, la intensidad en el eje es el quíntuplo de la de luz fija, y llega á 7 $^1/_2$ veces en los tambores que sólo tienen destellos blancos.

El dictámen de la Comision de faros de Francia es que hay lugar á trasformar 42 de los faros existentes en otros de luz eléctrica; lo cual exigiria un gasto total de unos siete millones de francos; con un millon más, se completaria el sistema de proteccion de las costas

añadiendo 20 aparatos de señales sonoras, ó de trompetas de sirena de vapor.

III

ALUMBRADO ELÉCTRICO DE LOS PUERTOS Y TÚNELES

El alumbrado eléctrico de los puertos y canalizos empieza á prestar grandes servicios á la navegacion. Los puertos de Belfast, Hull y Havre están ya alumbrados por este sistema. En los muelles de este último hay 34 focos Jablochkoff, repartidos en 6 circuitos de 4 á 6 focos cada uno, alimentados por 4 máquinas auto-excitadoras de Gramme las cuales están movidas por 2 máquinas de vapor de 35 caballos cada una. Se comprenderá la importancia de esta instalacion si se tiene en cuenta que en el puerto del Havre no pueden entrar los buques de mucho porte sino á las horas de la pleamar. Cuando las dos mareas cotidianas ocurren de dia, el barco que no ha podido aprovecharse de la primera por alguna circunstancia, ha de aguardar la segunda y sufrir por consiguiente un retraso de once á doce horas. Pero en las épocas en que una de las mareas ocurre de noche, si se desaprovecha la de dia, el barco tiene que esperar al ancla en la rada cerca de veinticuatro horas ántes de lograr el puerto. Ahora, gracias á la potencia de las máquinas eléctricas, los buques entran con la misma facilidad de noche que de dia.

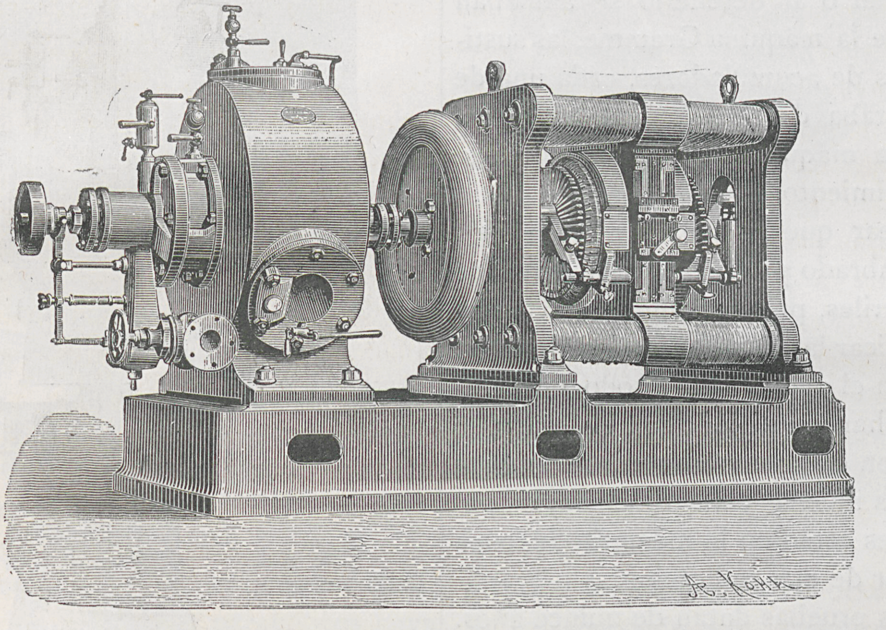


Fig: 436.—Máquina Gramme animada por un motor Brotherhood

Otra de las aplicaciones de la luz eléctrica es la del alumbrado de los grandes túneles, como los del San Gotardo y del Monte Cenis, ó de los caminos de hierro subterráneos en las grandes poblaciones. Pero, en lugar de alumbrar la vía, se han hecho pruebas para iluminar los trenes, colocando en la parte anterior de la locomotora una lámpara eléctrica con proyector, de suerte que el maquinista y el conductor puedan explorar siempre desde léjos el estado de la vía. Un aparato especial, la lámpara eléctrica de líquido del sistema Sedlaczek y Wikullil ha servido para estas pruebas; alimentábala un generador Schuckert puesto en accion por un pequeño motor Brotherhood, todo ello colocado en el avantren de una locomotora. Los ensayos efectuados entre Paris y Dammartin en el ferrocarril del Norte, y tambien en Alemania, han sido muy satisfactorios. «La lámpara, dice M. Geraldy, es fija y brillante, permitiendo distinguir los edificios y los puentes á 400 ó 500 metros de distancia, y sin perturbar la visibilidad de las señales: puede verse al tren que la lleva desde más de 1,500 metros de distancia.» A pesar de esto, los ingenieros de las Compañías no se muestran propicios á adoptar este alumbrado en los trenes: consideran que los gastos de instalacion, bastante costosos, no estarán en proporcion de los servicios obtenidos, y opinan además que no es indispensable que un tren vea ante sí, sino que seria preferible que fuese visto de léjos y por su parte posterior, por ser un tren detenido ó retrasado el obstáculo más peligroso. Seria, menester instalar la luz eléctrica en la parte

posterior, lo cual presenta muchas dificultades. Tambien se han hecho y se siguen haciendo pruebas de alumbrado de los wagones por el sistema eléctrico. En este caso, está naturalmente indicado el uso de lámparas de incandescencia y su alimentacion por medio de pilas ó mejor aún por acumuladores, con preferencia al de los reguladores ó de las bujías. En Inglaterra se han hecho experimentos con acumuladores Faure. En la línea del Este en Francia se ha probado á iluminar los compartimientos de un tren con 31 lámparas Maxim alimentadas por una máquina Gramme, la cual, colocada en el furgon delantero, estaba á su vez movida por una combinacion mecánica con el eje. Como al refrenar el tren ó al detenerlo se anulaban las corrientes de la máquina Gramme, las sustituian tres series de acumuladores, cada una de las cuales constaba de 24, sistema Meritens, enlazada con la máquina y cargada por ella durante el movimiento.

Si es de desear que se empleen poderosos medios de alumbrado para evitar todo percance en los ferrocarriles, por la misma causa se ha pensado en aplicar la luz eléctrica á los buques. Los choques en el mar, y sobre todo en tiempos brumosos, han aumentado con el desarrollo de la navegacion de un modo verdaderamente alarmante, y las muchas catástrofes cuyas peripecias terribles están en la memoria de todos militan en favor de esta aplicacion.

Las primeras pruebas datan de quince años. El Director de la Compañía de la Alianza, M. Berlioz, hizo instalar en el yacht *Príncipe-Napoleon* una máquina Malderen que suministraba luz á un regulador colocado á algunos metros sobre cubierta y provisto de un proyector que dirigia al horizonte el haz luminoso. El éxito de estos primeros experimentos indujo á hacer análogas instalaciones en los buques *San Lorenzo*, *d'Estrées*, *Francia*, *Aguila* y *Golondrina*. Pero varios inconvenientes, entre ellos el de que desaparecian las luces verde y roja reglamentarias ofuscadas por una luz eléctrica fija de gran intensidad, hicieron que no se pasase de estas primeras tentativas. Mas hace pocos años se efectuaron nuevas pruebas, por M. Fontaine en el vapor-correo transatlántico *América*, por MM. Sautter y Lemonnier en los vapores rusos *Livadia* y *Pedro el Grande*, y en los franceses *Suffern* y *Richelieu*, y finalmente por el Sr. Dalmau en los acorazados españoles *Numancia* y *Vitoria*. Los generadores empleados son por lo comun máquinas Gramme movidas por motores Brotherhood, y los proyectores de luz de los sistemas Sautter y Lemonnier, Mangin ó Siemens, representados en las figuras 436, 437, 438 y 439.

Conocemos ya la máquina Gramme (cuyo tipo D está representado en la figura 436). Hé aquí algunos detalles sobre los aparatos de proyeccion.

El proyector Sautter y Lemonnier (fig, 437)

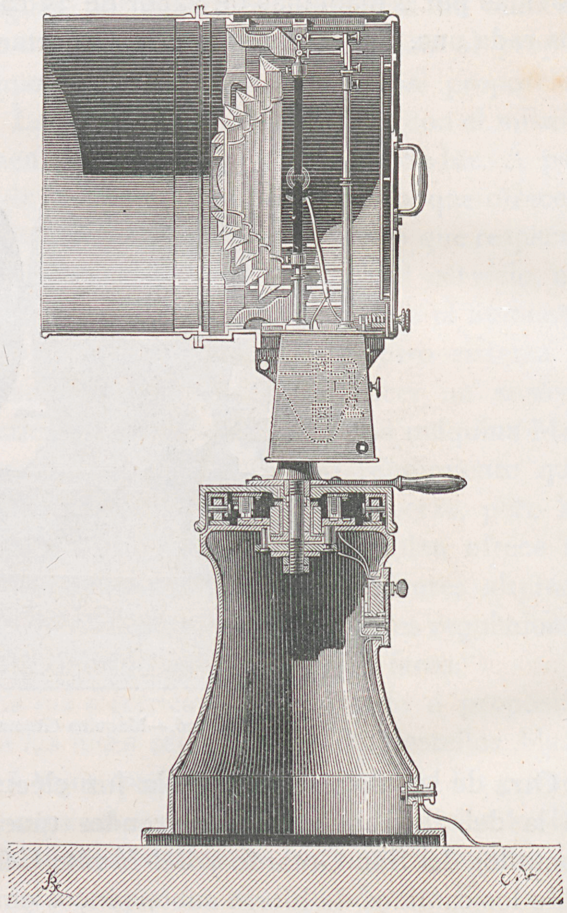


Fig. 437.—Proyector Sautter y Lemonnier

contiene en un tambor cilíndrico un aparato lenticular análogo al de los faros eléctricos, sólo que el sistema óptico está combinado del modo que concentra y proyecta en forma de haz cilíndrico los rayos del arco voltaico emanados de un regulador Serrin. El tambor cilíndrico que lleva este sistema puede moverse alrededor de su eje vertical y oscilar en torno del horizontal sin que cambien las posiciones relativas de la lente y del punto luminoso. Se puede pues lanzar en todas direcciones y con todas las inclinaciones el haz de luz.

Por lo demás, es fácil instalar el proyector, en un punto cualquiera del buque, ya en el puente del comandante, ó bien en una plataforma colocada á proa.

En el proyector Siemens (438), el aparato de proyeccion, es un reflector parabólico, y los dos sistemas lenticulares que lleva no tienen más objeto que regular la lámpara proyectando los carbones sobre una pantalla.

El proyector Mangin (fig. 439) se compone de un espejo esférico cóncavo; pero la superficie interior es la reflectora, de suerte que los rayos luminosos atraviesan dos veces el espesor del espejo ántes de salir al exterior. Como las superficies del espejo no pertenecen á una esfera del mismo radio, el inventor ha calculado sus radios de modo que los rayos luminosos reflejados sean paralelos; guiábale el objeto de

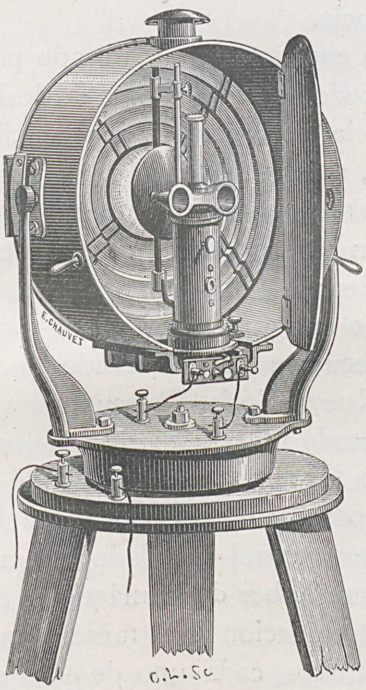


Fig. 438.—Proyector Siemens

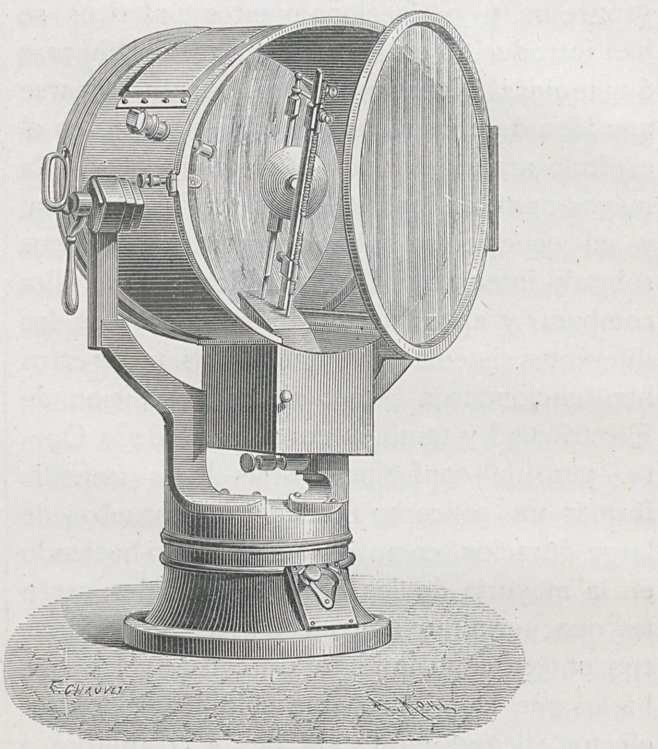


Fig. 439.—Proyector Mangin

evitar el empleo de aparatos lenticulares siempre costosos y de reflectores parabólicos cuya forma es difícil de obtener con exactitud. Han de moverse los carbones con la mano, por medio de tornillos de rosca diferentes, á causa de su desigual desgaste. Carece de regulador, de suerte que se ha de vigilar continuamente el aparato cuando está funcionando. Lo que principalmente se ha propuesto el inventor ha sido suprimir todo mecanismo delicado que siempre exige un cuidado y vigilancia especiales.

La luz eléctrica, empleada en la marina como acabamos de decir, no sirve para alumbrar los buques; al contrario, el barco mismo queda sumido en la oscuridad y el fanal que lleva, ó bien alumbra su camino y hace que las embarcaciones que se hallan en las mismas aguas adviertan su aproximacion, ó bien sirve para explorar el horizonte. En cuanto al alumbrado interior del buque, ya es otra cosa. Tambien se ha abordado esta cuestion hace algunos años, sobre todo desde la invencion de las lámparas de incandescencia, habiéndola iniciado los vapores de las grandes líneas transatlánticas. El *City of Richmond*, el *Servia* y el *Château-Léoville* están alumbrados con lámparas Swan; 6 lámparas de 30 luces iluminan el salon del primero de dichos vapores y otras 11 lámparas los entrepuentes restantes. En el vapor *City of Worchester* se han instalado 270 lámparas Edison.

IV

ALUMBRADO ELÉCTRICO DE LAS CIUDADES, CALLES, PLAZAS Y MONUMENTOS

A pesar del éxito incontestable de los numerosos y prolongados experimentos que han tenido por objeto sustituir el gas por la luz eléctrica para el alumbrado de las

plazas, paseos, calles, muelles, puertos, etc., todavía no se ha adoptado el nuevo sistema de un modo definitivo. Pero, á decir verdad, las dificultades y los obstáculos que á su establecimiento se oponen no son ya de incumbencia de la ciencia, sino cuestion de economía, de gastos de instalacion. Desde la época, relativamente reciente, en que se hicieron las primeras pruebas de alguna importancia, ¡cuántos progresos y perfeccionamientos prácticos se han introducido en los aparatos, sean lámparas ó máquinas! Nuestros lectores podrán formarse una idea de ellos recordando lo expuesto en el capítulo anterior. Hase conseguido obviar la mayor parte de los defectos de la luz eléctrica, y en especial su falta de fijeza y los focos sobrado intensos y deslumbradores. Sólo falta comparar y apreciar por todos conceptos los diferentes sistemas inventados. Casi todos estos han funcionado á la vez en la Exposicion de Electricidad y tambien en el teatro de la Opera, pero la confusion de las luces impedia formar un concepto fundado. Las pruebas de larga duracion, como las que se están haciendo en la mayoría de las grandes ciudades, serán las que permitan á los electricistas decidirse con entero conocimiento de causa, y las que harán que el público, que sólo juzga por los efectos, llegue en fuerza de la costumbre á apreciar con recto criterio estos nuevos sistemas de alumbrado.

Lo que sí parece definitivamente demostrado es que los reguladores, las lámparas de arco voltaico, alimentadas por las poderosas máquinas productoras de luz hoy conocidas, son más ventajosas (y con mucho) que las lámparas de incandescencia y que el gas, siempre que se desee contar con focos luminosos de gran intensidad. Así lo hemos visto particularmente por lo que atañe á los faros. Cierto es que la luz cuesta proporcionalmente más á medida que se la divide, y esto es lo que explica la vacilacion de la administracion pública cuando se trata del alumbrado de paseos, calles y plazas. Pero áun admitiendo que el precio de coste de una luz eléctrica continúe excediendo notablemente del de una intensidad luminosa igual obtenida con el gas, es probable que se adopte el alumbrado eléctrico para las grandes vías de las ciudades, en los barrios ricos; será un alumbrado de lujo, pero las ventajas de una luz más abundante y más blanca prevalecerán sobre los inconvenientes del mayor gasto.

En los teatros y salones de conciertos se preferirá, segun los casos, ora las lámparas de regulador ó de arco voltaico, ó bien las de incandescencia.

Queda la cuestion del alumbrado particular, en la cual todo se subordina á la de la distribucion de la electricidad á domicilio. Los americanos, más resueltos y decididos que los pueblos del antiguo continente, se nos adelantarán, segun parece, por lo que respecta á este punto. Al describir la gran máquina Edison, hemos dicho que está en proyecto y quizás en vías de ejecucion el alumbrado de todo un barrio de Nueva York. El fecundo inventor ha combinado todo un sistema de canalizacion, de distribucion de las corrientes y de division indefinida, por decirlo así, de la luz eléctrica. En el taller central instalado en medio del barrio, deberá haber doce máquinas de vapor que pongan en accion otros tantos generadores dinamo-eléctricos, cada uno de ellos capaz de alimentar 2400 lámparas de 8 candles ó 1,200 de 16, ó sea un total de 28,800 focos del primer tipo ó 14,400 del segundo. Por otra parte, se anuncia que el sabio inglés Gordon acaba de hacer construir una máquina dinamo-eléctrica bastante poderosa para utilizar el trabajo de 500 caballos de vapor y alimentar de 5000 á 7000 lámparas de incandescencia.

No puede, pues, estar muy lejano el momento en que el problema de la distribucion de la electricidad á domicilio, y por consiguiente el del alumbrado eléctrico privado, tenga por lo ménos su primera solucion. Luégo corresponderá á la práctica decidir de las ventajas é inconvenientes relativos á esta nueva aplicacion de la ciencia.

CAPÍTULO XIV

LA GALVANOPLASTIA

I

INVENCION DE LA GALVANOPLASTIA: OJEADA HISTÓRICA

Hemos visto á la electricidad trasmitir á larga distancia con prodigiosa rapidez y bajo distintas formas los signos confiados á los aparatos telegráficos, ora limitándolos á simples movimientos oscilatorios de las agujas del galvanómetro, ora escribiendo y áun imprimiendo en caractéres conocidos las letras de un despacho ó ya en fin reproduciendo con fidelidad increible el facsímile del escrito ó del dibujo que constituye el telégrama expedido. Así pues, la telegrafía es una aplicacion mecánica de la electricidad, ó mejor dicho, del electro-magnetismo, puesto que el principio es la accion recíproca de las corrientes voltaicas y de los imanes. Además, utilizando las repulsiones y atracciones electro-magnéticas se ha inventado la relojería eléctrica, los cronógrafos, los aparatos anotadores automáticos de los fenómenos físicos, los motores eléctricos, y otra porcion de aparatos empleados hoy en las industrias y en las artes.

La electricidad no produce tan sólo movimiento, sino que calienta los cuerpos, y esto con tanta energía que funde y volatiliza los metales y las sustancias más refractarias, é inflama á larga distancia las mechas de los barrenos, y los torpedos protectores de las costas y de los puertos. La luz deslumbradora que brota entre los dos conos de carbon compite en intensidad con los rayos solares. Merced á un mecanismo cuyo movimiento lo regulan las variaciones de intensidad de la corriente y la combustion misma, se puede dar tambien muchas aplicaciones á la luz del arco voltaico, que en la actualidad rasga las brumas de las noches más oscuras, y acrecienta el brillo y el alcance de los faros, de esos aparatos inventados por Fresnel, tan poderosos auxiliares de la navegacion.

Para completar el cuadro de las aplicaciones de la electricidad, réstanos dar cuenta de las que están basadas en los efectos químicos de las corrientes, es decir, en los fenómenos, misteriosos todavía, que la ciencia considera como engendradores de la electricidad dinámica.

La *galvanoplastia* y la *electro-química* son los nombres con que generalmente se distinguen estas aplicaciones, de las que han sabido aprovecharse por igual la ciencia, la industria y el arte. Unas cuantas palabras sobre el principio que les es comun bastarán para justificar la distincion que acabamos de hacer.

Recordemos ante todo los fenómenos que ocurren cuando se hace pasar una corriente voltaica por una disolucion salina, y tomemos por ejemplo una de sulfato de cobre. Apénas se cierra el circuito y pasa la corriente, se descompone la sal; del electrodo positivo se desprenden burbujas de hidrógeno, y se deposita cobre en estado metálico alrededor de la placa que forma el electrodo negativo. Los físicos que sólo tenian á su disposicion las primeras pilas de Volta conocian ya este fenómeno de descomposicion; sólo que á causa de la irregularidad de la corriente y de lo pronto que se debilitaba, el depósito metálico no era las más de las veces sino un depósito pulverulento, impropio para las aplicaciones industriales. Sin embargo, la ciencia sacó partido de él, y los químicos lograron de este modo aislar, descubrir metales desconocidos hasta entónces. La invencion de las pilas de corriente constante, como la de Daniell, modificó por ventajosa manera el fenómeno. En otro capítulo hemos tenido ocasion de hacer mencion del descubrimiento del primer motor eléctrico, el que ideó Jacobi para hacer navegar una barca por el

Neva. Si este invento no tuvo el resultado que su autor esperaba, dió motivo á un descubrimiento más afortunado, del cual nació en definitiva la galvanoplastia.

Jacobi, que se habia valido para su experimento de una pila Daniell, cuyo polo positivo estaba formado de placas de cobre muy puro y muy maleable, quedóse asombrado al ver que las placas de platino del electrodo negativo se habian cubierto de un depósito rugoso, compuesto de hojuelas de cobre quebradizas, y cuya superficie interna reproducia fielmente todas las desigualdades del metal en que se habian formado. El ilustre físico repitió el mismo experimento variándolo, y obtuvo depósitos metálicos homogéneos, que en lugar de ser pulverulentos, tenian la consistencia, compacidad y ductilidad de los metales más puros, tal como los suministran las operaciones metalúrgicas. Además, sustituyendo la placa de cobre de la pila con moldes de medallas, ó con planchas grabadas en hueco ó en relieve, obtuvo reproducciones exactas en hueco ó en relieve tambien, de los tipos originales (1). Tal es el orígen de la galvanoplastia, descubierta asimismo por el inglés Spencer al año siguiente. Esta invencion adquirió en breve gran desarrollo, siendo el punto de partida de muchas aplicaciones artísticas é industriales en las que se han ido introduciendo perfeccionamientos importantes.

Los procedimientos que constituyen la galvanoplastia propiamente dicha dan depósitos que se moldean exactamente sobre los objetos que se han de reproducir, pero sin adherirse á ellos. A pesar de esto, tambien se pueden obtener depósitos muy delgados que se adhieren á la superficie del objeto y le sirven de cubierta protectora, sin alterar sensiblemente su forma ni sus contornos; los procedimientos empleados en este caso constituyen el dorado, plateado, cobreado, niquelado, etc., galvánicos, segun que el metal depositado es oro, plata, cobre, niquel, etc. Tal es, en cuanto al resultado, la diferencia que media entre la *galvanoplastia*, y lo que á veces se llama *electroquímica*, *galvanizacion*. El principio es el mismo, los procedimientos distintos, y por otra parte se han descubierto con independencia entre sí. Y en efecto, la invencion del dorado galvánico data de fecha más remota que la galvanoplastia.

Luis Brugnatelli, profesor de química en la universidad de Pavía, descubrió en 1805 el medio de dorar con la pila las medallas y otros pequeños objetos de plata: valíase para ello de una disolucion de cloruro de oro en amoniaco (amoniuro de oro), en la cual metia el objeto que queria dorar, poniéndolo en comunicacion con el polo negativo de una pila por medio de un alambre de acero ó de plata. Cierto es que esta invencion subsistió largo tiempo ignorada y sin aplicacion, habiéndose debido al descubrimiento de la galvanoplastia el que se practicasen indagaciones en esta vía, haciendo revivir por decirlo así el invento de Brugnatelli. En 1840, el ilustre físico de la Academia de Ginebra M. de la Rive se dedicó á estudiar el modo de sustraer á los obreros doradores al pernicioso uso del mercurio, y consiguió dorar laton, cobre y plata con la pila. La disolucion que empleaba era «una solucion de cloruro de oro tan neutra como era posible y muy diluida (de 5 á 10 milígramos de oro por centímetro cúbico), en un saco cilíndrico formado de una membrana de vejiga; introducia este diafragma en una vasija de vidrio llena de agua convenientemente acidulada y bañada á su vez en la solucion de oro.» Un cilindro de zinc unido con un alambre de plata al objeto que se habia de dorar producia la corriente eléctrica, que debia ser muy débil. Varios físicos, entre otros Elsner, Bœttger, Perrot y Smée introdujeron algunos perfeccionamientos en el método de M. de la Rive, pero otro nuevo, descubierto casi simultáneamente por el inglés Elkington (setiembre 1840) y el francés Ruolz (1841), dió en breve fecundo impulso á esta aplicacion de la electro-química. Desde aquel momento, la galvanoplastia llegó á ser un verdadero arte industrial en manos de M. Cristofle, que adquirió los privilegios de los dos inventores.

Sin entrar en la historia detallada de las fases por que ha pasado la galvanoplastia de treinta años á esta parte, describamos los métodos más usados en el dia.

(1) El sabio físico ruso pudo presentar á la Academia de ciencias de San Petersburgo el 7 de octubre de 1838, una placa de cobre en la que estaba reproducida en relieve la impresion de los dibujos grabados en hueco en una placa parecida.

II

LA GALVANOPLASTIA PROPIAMENTE DICHA

Ocupémonos ante todo de la *galvanoplastia propiamente dicha*, del arte merced al cual se reproduce, mediante un depósito metálico homogéneo, pero no adherente y bastante espeso, el relieve de cualquier objeto, como medallas, estatuas, bajos relieves, ornamentos arquitectónicos, alhajas, etc.

Segun el fin que el operador se proponga, la reproduccion galvanoplástica de un objeto se puede hacer de dos distintos modos. Si quiere obtener una reproduccion idéntica, en la que el relieve y los huecos sean los del modelo mismo, es preciso en este caso empezar por hacer un molde cuyos huecos son los relieves del modelo y recíprocamente; entónces se emplean los procedimientos ordinarios del moldeado; pero claro está que se podria obtener desde luégo el molde por medio de la galvanoplastia, y luégo reproducir el objeto en virtud de una segunda operacion hecha con esta contra-prueba. Bastará la primera de estas operaciones si lo que se trata de hacer es una reproduccion en hueco de los relieves del molde.

En todos los casos, la superficie del molde en que la corriente deposite el metal requerido ha de ser buena conductora de la electricidad, y así sucederá si el molde es metálico. Si, como acontece con frecuencia en la práctica, el molde es de cera, de azufre, de yeso, ó mejor aún, de gelatina ó de guttapercha, será menester *metalizar* préviamente su superficie, lo cual se consigue por varios medios. El más sencillo consiste en cubrir el molde, con un pincel ó un cepillo, de una capa tenue y uniforme de polvos de plombagina, medio discurrido por Jacobi. Tambien se puede emplear al efecto una solucion de nitrato de plata en alcohol. Expónese la superficie así humedecida del molde á las emanaciones del ácido sulfhídrico, y entónces se forma una capa negra, sumamente tenue, de sulfuro de plata, compuesto que es un conductor excelente. Este medio se emplea sobre todo cuando se quieren reproducir objetos delicados, como flores, frutos y áun de vidrio y de cristal.

Una vez hecho el molde y cuando ya está preparado para recibir el depósito metálico, hay que preparar el baño y el aparato galvanoplástico. Lo que se designa con el nombre de *aparato simple* consiste precisamente en el baño mismo que, á decir verdad, constituye una pila de corriente constante, como la de Daniell. Supongamos que se trata de reproducir un objeto en cobre, que es el metal más generalmente usado. Pónese en una cubeta, en una vasija de vidrio, una solucion de sulfato

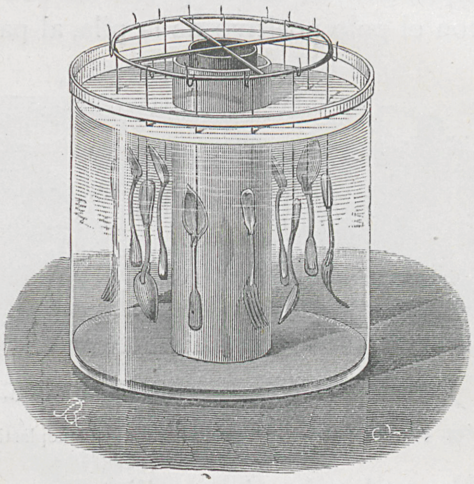


Fig. 440.—Aparato simple para la galvanoplastia

de cobre (sustancia conocida en el comercio con el nombre de *caparosa azul* y vulgarmente con el de *piedra lipis*), y en el centro de la cubeta se coloca un vaso poroso lleno de agua acidulada con ácido sulfúrico, en el cual se introduce una plancha ó un cilindro de zinc que forma el polo negativo de la pila. De este polo se suspende por un hilo metálico, que lo rodea de modo que esté en contacto con la capa conductora (plombagina ó sulfuro de plata), el molde del objeto que se ha de reproducir. La fig. 440 muestra cómo se dispone el aparato, que sirve tambien para el dorado y el plateado electro-químicos. En este caso, la naturaleza del baño varía, como veremos en breve.

El aparato simple no es pues otra cosa sino una pila en la cual el molde y el zinc forman el polo negativo, miéntras que la solucion de sulfato de cobre es el positivo; el hilo metálico de suspension reune ambos electrodos.

Tan luégo como se cierra el circuito y pasa la corriente, se descompone el sulfato de cobre y el metal se deposita en toda la superficie del molde. Mas, á medida que se forma este depósito, el baño se empobrece por esto mis-

mo, se torna cada vez más ácido, y el metal depositado perderia sus propiedades plásticas, su coherencia, si no se sumergiera en el baño un saquillo lleno de cristales de sulfato de cobre que lo mantienen en su estado normal de saturacion.

Lo que en galvanoplastia lleva el nombre de *aparato compuesto* no difiere del simple sino en que la pila está fuera del baño; para evitar que éste se debilite, se mantiene sumergida en él una plancha de cobre puesta en comunicacion con el polo positivo de la pila, al paso que

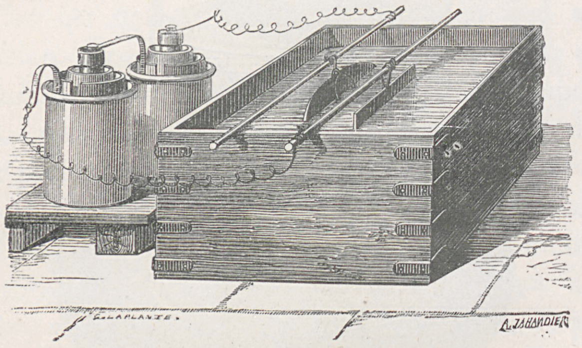


Fig. 441.—Aparato compuesto para la galvanoplastia

el molde está enlazado metálicamente con el polo negativo. Esta plancha suministra sin cesar á la solucion la cantidad de cobre que se deposita, de suerte que la concentracion del baño es siempre la misma. Jacobi, que ideó esta última disposicion, ha dado á la plancha de cobre del aparato compuesto el nombre de *electrodo soluble.*

Hace algun tiempo que en los talleres galvanoplásticos se sustituye ventajosamente la pila con máquinas dinamo-eléctricas.

Las destinadas á este uso especial difieren en un punto importante de las que producen luz. En estas es menester la tension más que la cantidad; para las operaciones electro-químicas es necesaria la segunda y una tension débil, lo cual se consigue empleando hilos de escasa resistencia para los electro-imanes inductores y la bobina. M. Gramme usa para guarnecer los electro-imanes de sus máquinas galvanoplásticas, en lugar del alambre redondo que ponia en un principio, una sola y delgada capa de cobre que cubre toda la anchura de una media barra de electro-iman; en cuanto al hilo de la bobina, es más grueso que ancho y ofrece bastante rigidez, para poder resistir los efectos de la fuerza centrífuga desarrollada por una velocidad de rotacion de 500 vueltas por minuto.

III

VARIAS APLICACIONES DE LA GALVANOPLASTIA

Entremos ahora en algunos detalles acerca de las diferentes aplicaciones industriales ó artísticas de la galvanoplastia.

Los procedimientos que acabamos de describir se aplican tales cuales son á la reproduccion de medallas, sellos, y de todas las piezas de pequeñas dimensiones que tienen una sola cara grabada. Hoy se los utiliza para reproducir dibujos grabados en madera, acero ó cobre, cuyos grabados se estropean ó se desgastan muy pronto cuando se imprime con ellos, y cuyos tipos se consigue conservar indefinidamente gracias á la galvanoplastia.

Con un grabado en boj se pueden tirar cuando más diez mil ejemplares. Hé aquí cómo se reproducen tantos clichés como se quiera y que pueden servir para la impresion. Empiézase por metalizar la superficie de boj con plombagina, y luégo se saca un molde de él con gelatina ó guttapercha : en seguida se somete el molde así sacado y metalizado á la accion galvanoplástica, en virtud de la cual se deposita en él una capa de cobre (1), la cual reproduce con la mayor exactitud hasta las líneas más tenues del grabado. Al cabo de unas veinticuatro horas, cuando más, el espesor de la hoja metálica llega á ser de un vigésimo de milímetro, espesor que no basta para resistir la presion de las máquinas tipográficas, por lo cual se refuerza dicha hoja extendiendo sobre su parte posterior una aleacion de plomo y antimonio (metal de que se componen los caracteres de imprenta). Entonces puede soportar sin alteracion una tirada de ochenta mil ejemplares. La matriz ó sea el dibujo grabado en boj, queda absolutamente intacta, y se puede sacar de ella un número indefinido de clichés.

Mediante un procedimiento análogo se pue-

(1) Hace algunos años que ciertos fabricantes de clichés han sustituido el níquel al cobre para reproducir grabados. Como el primer metal es tres veces más resistente que el segundo, un depósito de 3 á 4 décimos de milímetro de níquel equivaldrá á uno de cobre de 1 milímetro. A esta ventaja hay que añadir la de que aquél metal cuesta ménos que este. Los señores Boudreaux, Christofle y Lionnet aplican el niquelado á los clichés, pero tambien se hace uso de él para muchas piezas de las máquinas industriales ó científicas.

den reproducir láminas grabadas en cobre ó en acero; por lo comun se obtiene la estampacion con la prueba galvanoplástica, y con este molde, se opera de modo que quede reproducida la lámina tipo. Sólo que hay que tomar una precaucion para evitar la adherencia, la cual consiste en someter la lámina á los vapores de iodo ántes de meterla en el baño. Así se procede, por ejemplo, para la impresion de los sellos de correo. Reúnense doscientas ó trescientas estampaciones ó matrices del tipo del grabado, y de este modo se sacan planchas con las que se pueden imprimir pliegos que contengan el mismo número de sellos. Comprenderáse la utilidad de esta multiplicacion del tipo primitivo cuando se sepa que en Francia se imprimen diariamente más de dos millones de sellos de correos. Para evitar las falsificaciones que se podrian hacer fácilmente por medio de los trasportes á la piedra, se extiende una tinta blanca sobre el papel en que se han impreso los sellos cuya tinta se adheri-



Fig. 442.—Reproduccion de una medalla por la galvanoplastia: molde en hueco



Fig. 443.—La misma medalla reproducida en relieve por la galvanoplastia

ria tambien á la piedra litográfica á la vez que las líneas del dibujo, y al proceder á la impresion sólo saldria una mancha uniforme que cubriria todo el pliego.

M. Smée ha fabricado galvanoplásticamente los clichés con los que se imprimen los billetes del Banco de Inglaterra. Para dar una idea de la resistencia de estos clichés, baste decir que se ha tirado más de un millon de billetes sin que se note alteracion alguna en ellos.

Si la galvanoplastia presta importantes servicios en la impresion de grabados, no es ménos útil para la correccion de las planchas grabadas, por ejemplo, para añadir nuevos detalles en las cartas geográficas ó topográficas, como rectificacion de carreteras, agregacion de otras nuevas, ó de caminos de hierro, canales, obras industriales, etc., todo lo cual no era posible sino mediante retoques ó aplanamientos con el martillo que podrian estropear las planchas tipos. M. Georges ha discurrido un método de correccion con el cual se evitan tan graves inconvenientes. Se quitan con un raspador las partes que se han de modificar, y una vez hecho esto, se forma en el espacio que resulta en claro un depósito de cobre por medio de la galvanoplastia. Luégo se le planea ó alisa con cuidado y se saca una prueba en que las partes que se han de corregir salen en blanco; los dibujantes trazan en ella nuevas líneas, que, trasladadas á la plancha, pasan á manos del grabador.

Nadie ignora lo importante que es, en las impresiones cromo-tipográficas, que los diferentes colores de cada lámina se tiren exactamente á registro. Con la galvanoplastia se consigue esto, de una manera tan rigurosa como se pueda desear.

Y no tan sólo se reproducen galvanoplásticamente planchas idénticas á las grabadas, sino que tambien se aplica este nuevo arte al grabado directo, en el género de talla dulce ó de agua fuerte. Sólo que entónces ya no interviene un depósito metálico, y la placa en que está trazado el dibujo que se ha de reproducir se coloca como anodo soluble, en lugar de poner-

la en el baño en el polo negativo. En efecto, estando su superficie cubierta de una tenue capa de barniz aislador, y habiéndose dejado el metal á descubierto al trazar el dibujo con el punzon, la accion electrolítica ataca el metal, y resultando por lo tanto en aquél los mismos huecos que con el procedimiento al agua fuerte, queda hecho el grabado sin que el operador haya de temer la perniciosa accion de las emanaciones nitrosas.

Los procedimientos Dulos, Gillot y Garnier para el grabado en relieve sobre cobre ó zinc están basados en parte en la galvanoplastia; pero los detalles de las operaciones que aquellos requieren son sobrado minuciosos para que podamos reproducirlos aquí, y nos apartarian demasiado de nuestro principal asunto.

IV

ELECTRO-QUIMICA.—DORADO Y PLATEADO GALVÁNICOS

El principio en que están basados los métodos de dorado, plateado, y por lo general de depósito de un metal sobre la superficie de un objeto en capa tenue y adherente, es el mismo que el de la galvanoplastia propiamente dicha; es la propiedad electrolítica de una corriente voltaica, la cual, al atravesar una disolucion de oro, plata, etc..... la descompone y trasporta el metal al polo negativo.

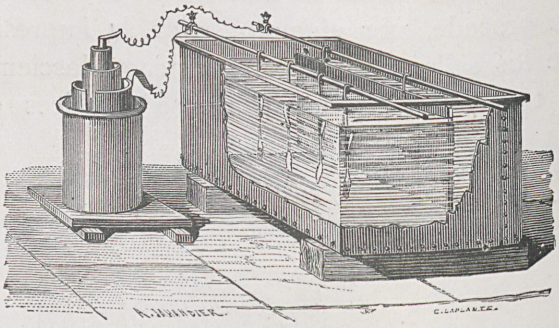


Fig. 444.—Plateado galvanoplástico: aparato compuesto

Pero, despues de conocido el principio, quedaban dificultades prácticas por vencer; faltaba averiguar las condiciones de adherencia del depósito; dar con la mejor composicion del baño, con el modo más adecuado de prepara-

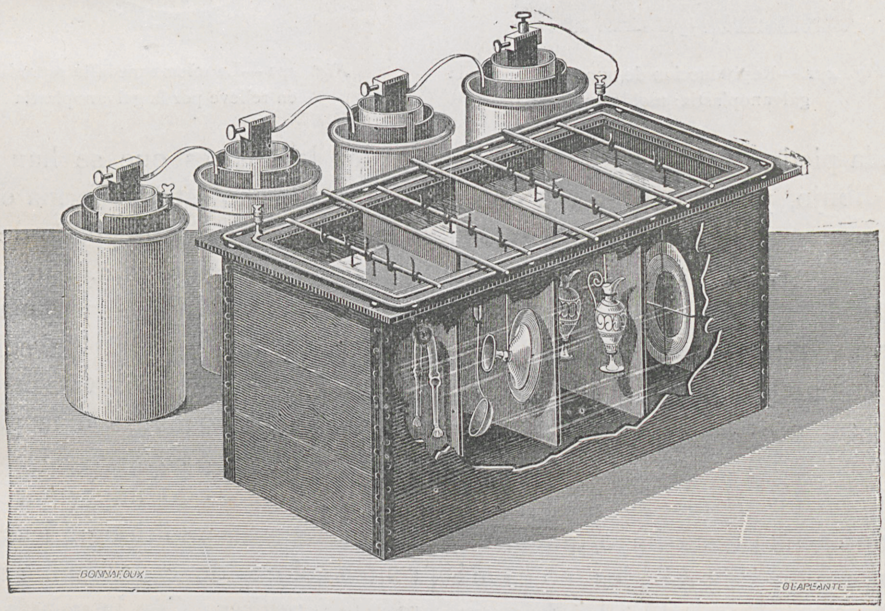


Fig. 445.—Aparato compuesto para el dorado ó plateado galvanoplástico

cion de los objetos que habia que cubrir, etc. Ya hemos visto que los señores Elkington y Ruolz idearon los primeros procedimientos verdaderamente industriales de dorado y plateado.

Los aparatos usados, simples ó compuestos, son los mismos que hemos descrito al tratar de la galvanoplastia. La preparacion del objeto consiste principalmente en pulir su superficie, la cual debe estar perfectamente exenta de toda materia extraña. Si el objeto es de bronce, se le recuece al rojo oscuro; si de laton, se le lava en una disolucion de sosa concentrada; pero en este caso siempre queda una ligera capa de óxido que se hace desaparecer sumergiendo el objeto en un baño ácido. Por último, si el objeto que se ha de dorar ó platear es de hierro, acero, zinc, aluminio, es menester cubrirlo pré-

viamente, por la galvanoplastia, de una ligera capa de cobre, pues de lo contrario no se adheriria el oro ó la plata depositado en su superficie.

Una vez hecho esto, se prepara el baño. Para el dorado, consiste en una solucion de cianuro de oro en mayor cantidad de cianuro de potasio; la composicion para el plateado es semejante: consiste en una solucion de cianuro de plata en mayor cantidad de cianuro de potasio. Mas, en tanto que para platear se puede operar á la temperatura ordinaria, para dorar conviene que la del baño se mantenga durante la operacion á un grado bastante elevado, por

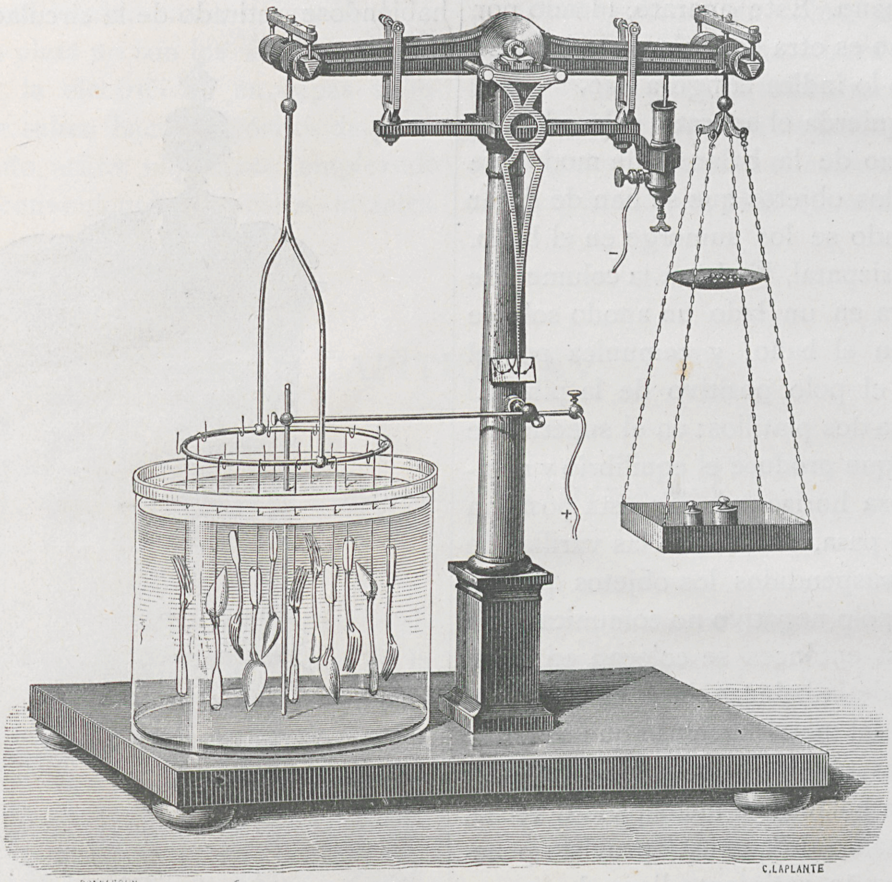


Fig. 446.—Balanza Roseleur

lo comun á 70°; en frio, el color del depósito no seria tan agradable á la vista. Se pone en el polo positivo una plancha de oro ó de plata por la cual entra la corriente en la disolucion, y que sirve de anodo soluble. El objeto que se ha de dorar ó platear forma el polo positivo. Apénas comienza la accion electrolítica, el cianuro de oro se descompone, el oro se traslada al polo negativo, y allí cubre poco á poco toda la superficie del objeto; mas al pasar el cianógeno al polo positivo se combina en él con el oro, y vuelve á formarse cianuro de oro en cantidad igual á la que la corriente descompone. Así pues, el título de la disolucion no cambia, condicion esencial de la operacion. Los fenómenos que ocurren en el baño de plata son enteramente análogos.

En las figuras 444 y 445 se ve cómo están dispuestos los aparatos compuestos de dorado y plateado. El baño se echa en una cubeta de madera, en cuyas paredes se ha extendido préviamente una capa de guttapercha. Cuélganse en ella los objetos de unas varillas de cobre que descansan en un marco metálico, el cual comunica con el polo negativo de la batería eléctrica. En otro marco separado del primero se colocan otras varillas de las cuales se suspenden las placas de oro ó de plata que forman los anodos solubles.

La fuerza de la corriente debe calcularse de modo que dé un depósito perfectamente adherente; y el espesor de la capa depositada depende del tiempo que dura la operacion. Pesando las piezas pulidas ántes de meterlas en el

baño y volviéndolas á pesar al sacarlas de él, se viene en conocimiento del peso exacto del metal precioso depositado, del espesor del dorado ó plateado.

Puédese hacer uso de un aparato que regula automáticamente la duracion de la operacion siempre que se quiera depositar en los objetos un peso del metal precioso, sea oro ó plata, fijado de antemano. Este aparato, ideado por M. Roseleur, no es otra cosa sino una balanza dispuesta como lo indica la figura 446.

Vése á la izquierda el aparato colocado debajo de un brazo de la balanza, de modo que este sostenga los objetos que se han de dorar ó platear, cuando se los sumerge en el baño. Una varilla horizontal, fijada en la columna de la balanza, lleva en un lado un anodo soluble que penetra en el baño, y comunica por el otro lado con el polo positivo de la pila. El otro brazo lleva dos platillos: en el superior se pone una tara que produce el equilibrio y mantiene la balanza horizontal. En esta posicion la corriente no pasa, por cuanto las varillas de las que están suspendidos los objetos que deben formar el polo negativo no comunican con la pila. Pero si entónces se colocan en el segundo platillo de la balanza las pesas equivalentes al peso del metal precioso que se ha de depositar en los objetos sumergidos, rómpese el equilibrio, la balanza se inclina á la derecha, una punta metálica de que está provista penetra en un pequeño recipiente lleno de mercurio puesto en comunicacion con el polo negativo de la pila, se cierra así el circuito, y la operacion comienza.

Esta, que no requiere vigilancia especial, dura miéntras el depósito no excede del peso determinado; mas tan luégo como está próximo á traspasar este límite, se restablece el equilibrio, cesa el contacto, y se interrumpe la corriente.

No entraremos en el detalle de las operaciones puramente técnicas que siguen al depósito de la capa de oro ó de plata en los objetos despues de sacarlos del baño. Diremos solamente que el color mate de esta capa se abrillanta frotando las partes que deben ser bruñidas con un cepillo de laton al que se imprime un rápido movimiento de rotacion, y luégo con piedras duras ó pedazos de acero metidos en mangos que manejan los obreros.

Para dar una idea de la importancia que esta industria ha adquirido en Francia solamente, citemos las siguientes líneas de los *Grandes talleres* de M. Turgau:

«Algunas cifras tomadas al azar darán una idea de la importancia adquirida por la electrometalurgia en la casa Christofle. Se han plateado en ella en 1865, 5.600,000 cubiertos, habiéndose retirado de la circulacion por esta

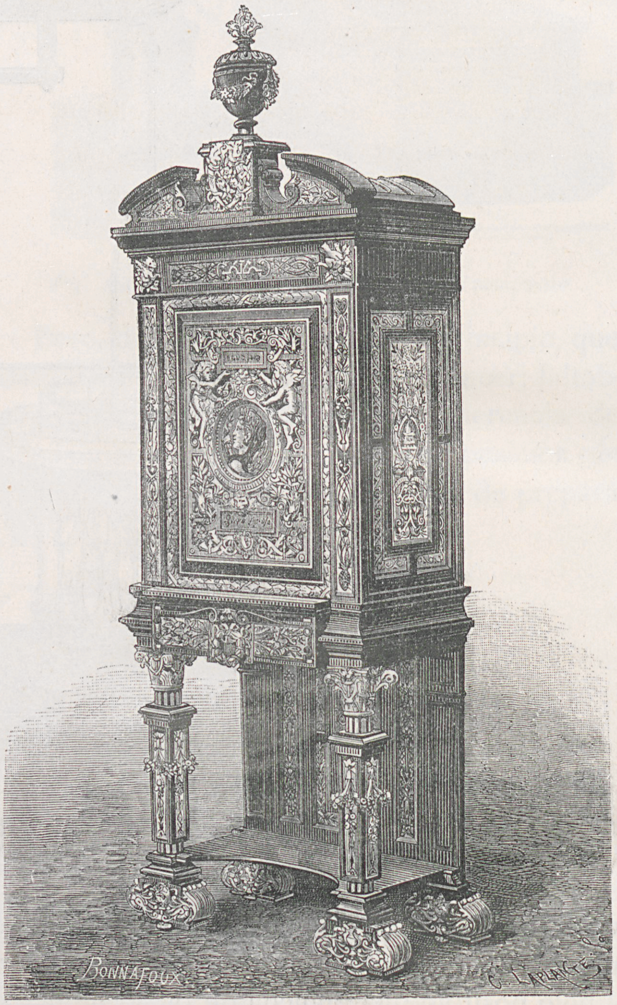


Fig. 447.—Mueble artístico adornado de incrustaciones obtenidas por medio de la galvanoplastia

causa 33,600 kilógramos de plata por valor de 6.700,000 francos. Igual cantidad de cubiertos de plata maciza hubiera hecho desaparecer de la circulacion un millon de kilógramos de plata, es decir, más de 200 millones de numerario. 33,600 kilógramos de plata, del espesor adoptado para los cubiertos, ó sea 5 gramos por decímetro cuadrado, ocuparian una superficie de 112,000 metros cuadrados.» Diez y siete años hace que se escribieron estas líneas, y desde entónces tan interesante industria se ha desarrollado todavía más.

Actualmente se aplica el dorado y el plateado galvánicos en una multitud de circunstancias, por ejemplo, en los ornamentos cincelados de los muebles. La variedad de los efectos que se obtienen dorando ciertas partes de los objetos, plateando otras, empleando aquí el oro verde, allí el rojo, etc., ha permitido introducir en la ornamentacion de los muebles de lujo una riqueza verdaderamente notable.

El oro y la plata no son los únicos metales aplicados por la electricidad en capas adherentes: hoy se saben hacer depósitos de platino, laton, estaño, acero, níquel, etc., empleando disoluciones convenientes de estos metales. Para el platino, es una disolucion de fosfato doble de platino y de sosa. Los de hierro se meten en un baño de pirofosfato de sosa y de protocloruro de estaño. Tambien se hace dicha operacion galvánicamente con el plomo y el zinc.

Otra de las aplicaciones importantes de la galvanoplastia es la que consiste en dorar las planchas grabadas en cobre, con lo cual adquiere su superficie una dureza que durante la tirada las preserva de toda alteracion. Tan luégo como la tenue capa de acero así depositada se desgasta, y asoma el color rojo de la plancha subyacente, es fácil acerarla de nuevo.

CAPÍTULO XV

OTRAS APLICACIONES DE LA ELECTRICIDAD

¿Hemos dado la descripcion ó agotado siquiera la lista de todas las aplicaciones de la electricidad? Ni con mucho; ántes al contrario, hemos debido limitarnos á las más importantes, á las más adoptadas generalmente. Por otra parte, se recordará que nuestro principal objeto consistia más bien en poner de relieve los fenómenos físico-eléctricos y sus leyes.

Con todo, no terminaremos este libro sin hacer todavía mencion de tres ó cuatro aplicaciones científicas, que parecen llamadas á adquirir gran desarrollo, empezando por el empleo de los aparatos anotadores eléctricos que tienen por objeto las observaciones meteorológicas continuas.

La meteorología es una ciencia que se halla aún en la infancia por muchos conceptos, lo cual no causará extrañeza á cuantos tengan idea de la extraordinaria complexidad de los fenómenos cuyas leyes se propone estudiar dicha ciencia. Muchos son los elementos de estos fenómenos: presion atmosférica, temperatura de las capas de aire á diferentes alturas, temperatura del suelo y de las aguas, higrometría, fuerza y direccion de los vientos, cantidad de lluvia caida, son otros datos que se han de recoger en el mayor número posible de puntos del globo terráqueo, y que requieren por parte de los observadores, si han de tomar nota de todas sus variaciones, una asiduidad de las más prolijas y penosas. Así es que los sabios que se consagran á esta tarea tienen por lo comun que ceñirse á la observacion de los instrumentos en determinadas horas del dia y de la noche, de lo cual resultan inevitablemente enojosos vacíos.

Mucho tiempo hace ya que se ha procurado obviar esta insuficiencia de los medios de observacion, discurriendo instrumentos que anoten automáticamente sus observaciones, haciendo por tal manera innecesaria la observacion inmediata ó directa del observador. Los termómetros de máxima y mínima pertenecen á dicha clase; pero sólo sirven para dar indicaciones de elementos aislados; no resuelven en modo alguno la cuestion, por demás importante, de la anotacion continua ó de reducida periodicidad que diera, por ejemplo, la curva de las variaciones de temperatura.

La idea de sustituir los aparatos comunes de física por anotadores automáticos no es nueva, Ya en 1782, Magellan habia ideado un *me-*

teorógrafo perpetuo, mas parece que no lo puso en práctica. El principio de este aparato era puramente mecánico, es decir, sacaba del movimiento mismo, causado por las variaciones de los elementos, la fuerza necesaria para inscribir las indicaciones. Muchos aparatos anotadores se han basado y basan todavía en este principio que tiene el mérito de ser tan sencillo como económico, pero que por desgracia, peca de insuficiente, á causa de la escasa intensidad de la fuerza utilizada de esta suerte.

Hay otro sistema que consiste en emplear la fotografía, es decir, en hacer que se reproduzca en papel sensibilizado la imágen, amplificada con un aparato óptico á propósito, del nivel de las columnas mercuriales del barómetro, del termómetro, etc. Este sistema es naturalmente más costoso que el mecánico, y tanto más cuanto que se le ha de agregar un mecanismo de relojería para imprimir un movimiento continuo á la tira de papel en que se estampan las indicaciones fotogénicas.

Por último, otro sistema consiste en emplear la electricidad como agente anotador; los aparatos telegráficos, y en especial los de los sistemas escritores ó impresores, bastan para que se comprenda cómo se utilizan las corrientes electromagnéticas para la inscripcion de las indicaciones meteorológicas. Por ejemplo, los índices de los instrumentos están provistos de agujas que penetran en una tira de papel sin fin, siempre que las armaduras de los electroimanes las ponen en movimiento, lo cual ocurre cuantas veces se cierra ó se interrumpe el circuito eléctrico; un reloj regula la periodicidad de estas variaciones de circuito, al propio tiempo que su mecanismo hace avanzar el papel en que se efectúa la inscripcion.

Citemos algunos de los instrumentos electromagnéticos usados en las observaciones de meteorología.

El primer *anemógrafo* construido en Francia lo fué por Du Moncel, modificado luégo por Salleron, é introducido finalmente por el P. Secchi en la gran máquina meteorográfica que el sabio jesuita expuso en el Campo de Marte en 1867. El anemómetro propiamente dicho se compone de una veleta para marcar la direccion del viento y de un molinete de Woltmann para indicar su velocidad. Un conmutador acimutal, dividido en ocho sectores aislados entre sí, está en relacion, mediante ocho hilos que van á parar á cada sector, por una parte con el mismo polo de la pila, y por otra con el aparato receptor. En este conmutador se apoya constantemente un frotador de piston que tiene la misma direccion que el eje de la veleta, estableciendo sin cesar un contacto metálico íntimo entre dicho eje y los sectores. Estando

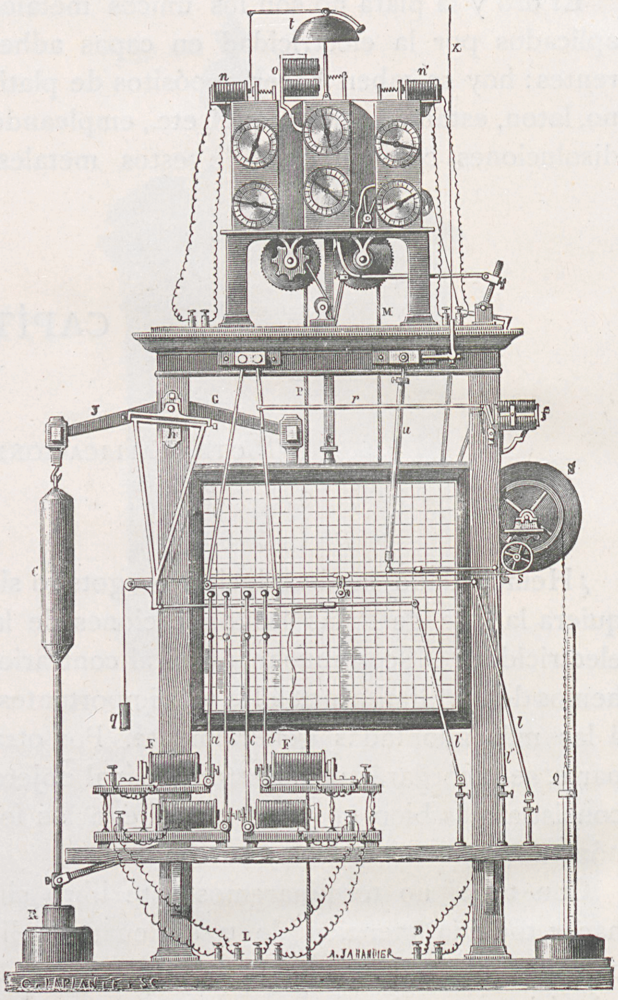


Fig. 448.—Meteorógrafo Secchi

además el eje en comunicacion con el otro polo de la pila, resulta que el circuito se halla siempre cerrado en el sector en que se apoya el frotador, es decir, precisamente en la direccion del viento. Entre el molinete, la pila y el aparato receptor se establece una comunicacion eléctrica análoga. El receptor es un cilindro movido de una manera uniforme por un aparato de relojería, de modo que efectúe una revolucion sobre sí mismo en doce horas, y avance sobre su eje una cantidad constante, por ejemplo, dos milímetros, á cada revolucion. Delante del cilindro hay ocho electro-imanes

con sus armaduras provistas de lápices, y siempre que se cierra el circuito de uno de ellos, el lápiz correspondiente traza en el cilindro, por apoyarle en su superficie el movimiento de la armadura, un trazo cuya longitud indica la duracion del viento al mismo tiempo que su direccion.

De un modo análogo queda marcado el número de vueltas efectuadas por el molinete y por consecuencia tambien resulta regularmente anotada la velocidad del viento.

El meteorógrafo del P. Secchi, representado en la fig. 448, tiene un reloj sobre una de sus caras, y lleva un cuadro que inscribe las indicaciones del barómetro, del termómetro seco y del húmedo, y marca la hora de la lluvia. Este cuadro describe su curso en dos dias y medio, y presenta así curvas muy desarrolladas en las cuales se pueden apreciar los detalles de los fenómenos sobre todo durante los temporales. En el cuadro de la segunda cara se inscriben la fuerza y direccion del viento, así como las indicaciones del termógrafo metálico; además se repiten en él las relativas al barómetro y á la lluvia. Este cuadro efectúa su marcha en diez dias y presenta un resúmen de las variaciones de estos elementos que permiten fácilmente compararlos.

Carecemos de espacio para describir con los detalles necesarios los barometrógrafos, los termometrógrafos y otros instrumentos meteorológicos anotadores especiales, cuya construccion está basada en la intervencion de la electricidad. Bástenos haber dado una idea general de esta aplicacion, y terminemos insistiendo en la importancia que no puede ménos de tener este método de observacion para los progresos de la ciencia. Hoy están en práctica varios sistemas en los principales observatorios meteorológicos, como los de Kew, Greenwich, Bruselas, Roma, Berna y Paris. El dia en que haya estaciones del mismo género diseminadas por todo el globo, en los continentes y en las islas, y en que pueda hacerse con el cuidado necesario el resúmen de observaciones exactas, continuas y que comprendan muchos años, se podrán establecer fórmulas más y más rigurosas para representar las leyes de los movimientos de la atmósfera y de los demás fenómenos que tienen su centro en la envolvente aérea del globo.

Nadie ignora que los coches, las locomotoras y tenders de los trenes de caminos de hierro están provistos de mecanismos que tienen por objeto aminorar ó detener en caso necesario el movimiento del tren. Dase á estos órganos mecánicos el nombre de *frenos*. El ingeniero

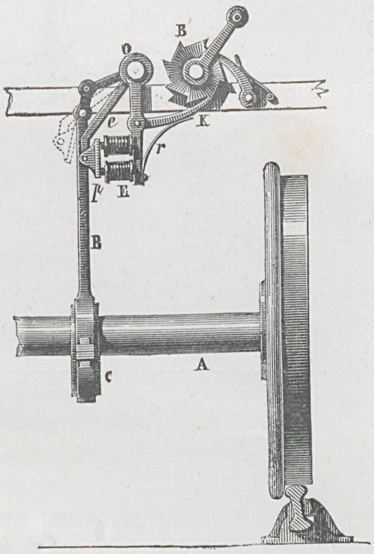


Fig. 449.—Freno eléctrico Achard

francés Achard ha discurrido el modo de sacar de la fuerza misma del tren en marcha la necesaria para apretar poco á poco las galgas de los frenos contra las ruedas de los carruajes. Sólo que para soltar el mecanismo que debe obrar en este sentido, ha recurrido á la fuerza de atraccion de un electro-iman. Hé aquí una de las soluciones del problema que ha planteado y resuelto, porque su sistema se ha puesto en uso en varias líneas.

El eje A del wagon lleva una excéntrica C que produce el movimiento de vaiven de la biela B, y la oscilacion de un eje O unida á esta por un brazo de palanca. Dicho eje lleva á su vez una palanca *e* en cuya extremidad hay una paleta de hierro dulce *p*, la cual se coloca á cada oscilacion enfrente de los polos de un electro-iman E. Miéntras la corriente no penetra en éste no hay atraccion, y el electro iman continúa suspendido de la varilla que lo sostiene, pero si el maquinista ó el guarda-freno cierra el circuito de la pila con un conmutador que tiene á su alcance, el electro iman y la paleta se ponen al punto en contacto magnético, y ambos oscilan juntos. La varilla de suspension del electro-iman lleva un trinquete K apoyado por el muelle *r* contra la rueda denta-

da B. A cada oscilacion avanza uno de lós ocho dientes de esta rueda, la cual gira por tanto un octavo de circunferencia, y con ella el mecanismo particular del freno.

La *pluma eléctrica* de Edison, que la figura 450 representa funcionando, es un aparatito muy ingenioso, y especialmente útil cuando se quiere sacar cierto número de copias de un

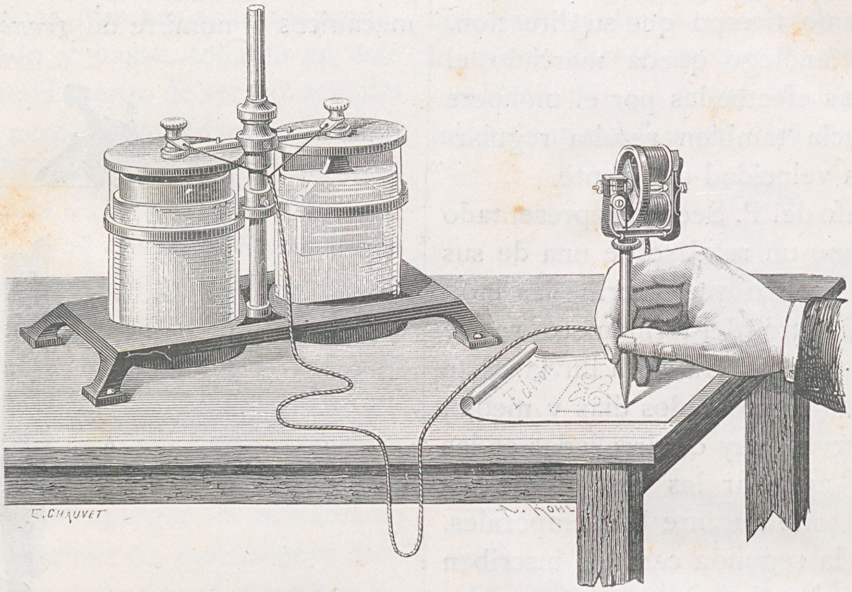


Fig. 450.—Pluma eléctrica de Edison

manuscrito. Los trazos que se hacen con esta pluma en papel comun no son continuos, sino que están formados de una multitud de aguje ritos que hace una punta de acero al tocar el papel. Esta punta termina en una varilla que atraviesa el tubo del porta-plumas, estando animada de un movimiento sumamente rápido, puesto que, cuando funciona al aire, el número

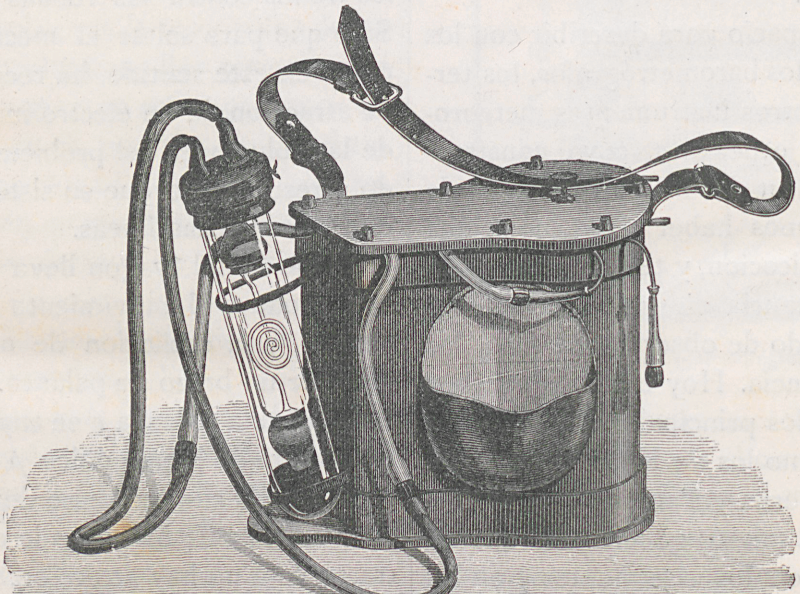


Fig. 451.—Lámpara foto-eléctrica de los mineros, sistema Dumas y Benoit

de sus golpes no baja de 180 por segundo. A cada oscilacion sale muy poco del extremo del tubo, pero lo bastante para perforar el papel. El que hace uso de ella la maneja como cuando se trazan letras, aunque, naturalmente, no tan de prisa como si escribiera con una pluma ó un lápiz. Pero el resultado es el siguiente: El papel resulta acribillado de un gran número de agujeros que permiten utilizarlo como si fuese un cliché negativo. Empléase al efecto

una prensa de copiar, sobre cuya platina se pone una hoja de papel blanco. El papel agujereado, puesto en la tapa, se comprime sobre aquella, y pasando entónces por toda su superficie un rodillo se le cubre de una capa de tinta, que penetra á través de los agujeros y produce la impresion.

Digamos en pocas palabras cómo se obtiene el movimiento de la varilla perforadora. Consíguese con un pequeñísimo electro-motor, situado en la parte superior del porta-pluma. La varilla remata en una horquilla, que abarca una excéntrica de tres apéndices montada sobre el eje del motor. Una plaquita de hierro dulce forma en este eje la armadura movible de un electro-iman fijo delante del cual gira con rapidez, y un conmutador interrumpe la corriente dos veces por revolucion, como sucede en los pequeños motores eléctricos que ya hemos descrito. Una pila de bicromato de potasa, de dos elementos, puesta sobre la mesa cerca de la persona que escribe, suministra la corriente eléctrica que pone en accion al electro-iman. Mediante una disposicion muy sencilla, se meten ó se sacan los electrodos en el líquido, de modo que la pila no funcione sino en el momento en que se ha de hacer uso de la pluma.

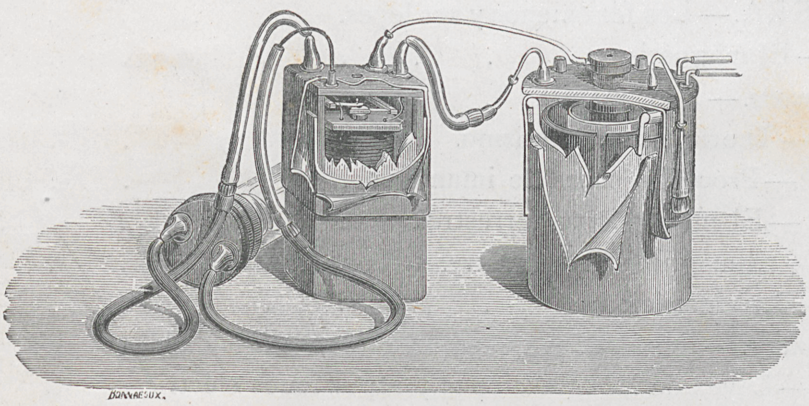


Fig. 452.—Aparato electro-magnético de la lámpara de mineros

Terminaremos lo que teníamos que decir acerca de la luz eléctrica y de sus aplicaciones, recordando lo que hemos expuesto ya en otra parte con respecto al ventajoso empleo que se hace de las proyecciones microscópicas, y luégo de su uso en fotografía: en ambos casos, la luz eléctrica suple la falta de la del sol. Añadiremos tambien unas cuantas palabras acerca de las lámparas foto-eléctricas inventadas para el alumbrado de las minas y que son al mismo tiempo lámparas de seguridad. La luz que producen estos aparatos no es ya el arco voltaico; verdad es que en este caso no se necesita tan gran intensidad. La chispa de induccion, tal como se produce en un medio enrarecido ó en el vacío, da una luz bastante débil, pero suficiente para alumbrar las minas, por lo cual se la ha utilizado en la construccion de lámparas de seguridad, por el estilo de la representada en la figura 451.

Esta consiste en un cilindro de vidrio dentro del cual hay un tubo capilar retorcido en espiral, á cuyos extremos van pegados dos hilos de platino que comunican con la bobina, y entre los cuales resultan las descargas sucesivas, como en los tubos de Geissler. La lámpara está sujeta en una caja que contiene el aparato de induccion y la pila (fig. 452).

Este sistema de alumbrado preserva á los mineros de todo peligro; y en efecto, el haz luminoso se forma en el vacío, sin ninguna comunicacion con el aire contenido en el vidrio cilíndrico y por lo tanto con el aire de la mina: además si el aparato llegara á romperse, la entrada del aire destruiria bruscamente la chispa y todo riesgo de inflamacion desapareceria con la extincion de la luz.

FIN DEL MAGNETISMO Y LA ELECTRICIDAD

INDICE

DE LOS CAPITULOS DEL TOMO TERCERO

EL MAGNETISMO Y LA ELECTRICIDAD

Páginas

PARTE PRIMERA.—Los fenómenos y sus leyes. 1

LIBRO PRIMERO.—El magnetismo. 3

Capítulo primero.—Los imanes. 3

Capítulo II.—Teoría del magnetismo. 11

Capítulo III.—Procedimientos de imantacion. 23

Capítulo IV.—El magnetismo terrestre.. 29

Capítulo V.—El magnetismo terrestre.—Las auroras polares.. . . 43

LIBRO SEGUNDO.—La electricidad. 59

Capítulo primero.—Fenómenos generales de la electricidad. . . . 59

Capítulo II.—Leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas.. . . 68

Capítulo III.—Influencia ó induccion eléctrica. 80

Capítulo IV.—Las máquinas eléctricas. 88

Capítulo V.—La botella de Leyden.—Los condensadores. . . . 102

Capítulo VI.—La pila. 118

Capítulo VII.—Electroquímica.—Corrientes termo-eléctricas y secundarias. 130

Capítulo VIII.—El electro-magnetismo.. 142

Capítulo IX.—La induccion. 163

Capítulo X.—Las máquinas de induccion. 171

Capítulo XI.—La luz eléctrica. 183

Capítulo XII.—Los meteoros eléctricos. 202

Capítulo XIII.—La electricidad atmosférica. 230

PARTE SEGUNDA.—Aplicaciones de los fenómenos y de las leyes del magnetismo y de la electricidad. 237

Capítulo primero.—La brújula.. 237

Capítulo II.—Los pararayos. 243

Capítulo III.—La telegrafía eléctrica. 250

Capítulo IV.—La telegrafía eléctrica.. 265

Capítulo V.—Aparatos de trasmision rápida. 277

Capítulo VI.—Las líneas telegráficas.. 288

Capítulo VII.—El teléfono y el micrófono. 304

Capítulo VIII.—El micrófono.—El fotófono. 316

Capítulo IX.—Los relojes eléctricos. 331

Capítulo X.—Los motores eléctricos.. 342

Capítulo XI.—Trasmision eléctrica de la fuerza.. 349

Capítulo XII.—La luz eléctrica. 355

Capítulo XIII.—El alumbrado por la electricidad. 375

Capítulo XIV.—La galvanoplastia. . . . .

Capítulo XV.—Otras aplicaciones de la electricidad. 391

EL MUNDO
FISICO

3

EL MUNDO FISICO

3